

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-309053

(P 2 0 0 3 - 3 0 9 0 5 3 A)

(43) 公開日 平成15年10月31日 (2003. 10. 31)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	ターマコード (参考)
H01L 21/027		G03F 7/22	H 5F046
G03F 7/22		H01L 21/30	516 A
			518

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全23頁)

(21) 出願番号 特願2002-110906 (P 2002-110906)

(22) 出願日 平成14年 4 月12日 (2002. 4. 12)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号

(72) 発明者 白戸 章仁

東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号 株
式会社ニコン内

(72) 発明者 白数 廣

東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号 株
式会社ニコン内

(74) 代理人 100064908

弁理士 志賀 正武 (外 3 名)

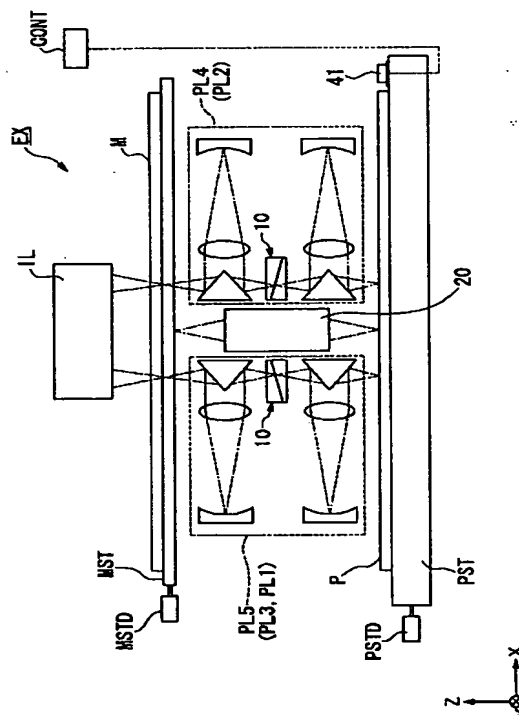
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 露光装置及び露光方法

(57) 【要約】

【課題】 投影光学系の結像位置及び像面を高精度で連続的に変更調整でき、精度良く露光処理できる露光装置及び露光方法を提供する。

【解決手段】 露光装置 EX は、露光光で照明されるマスク M と感光基板 P とを同期移動しつつマスク M のパターン像を投影光学系 PL 1 ～ PL 5 を介して感光基板 P に投影露光する走査型露光装置であり、露光光の光路上に、パターン像の像面の位置を Z 軸方向に調整するとともにパターン像の像面傾斜を調整する像面調整装置 10 を備えている。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 露光光で照明されるマスクと感光基板とを同期移動しつつ前記マスクのパターン像を投影光学系を介して前記感光基板に投影露光する露光装置において、

前記露光光の光路上に、前記パターン像の像面の位置を該像面と直交する方向に調整するとともに前記パターン像の像面傾斜を調整する像面調整装置を備えることを特徴とする露光装置。

【請求項 2】 前記像面調整装置は、第 1 の傾斜面を有し前記露光光を透過可能な第 1 の光学部材と、前記第 1 の傾斜面对向するように設けられる第 2 の傾斜面を有し前記露光光を透過可能な第 2 の光学部材と、前記第 1 の傾斜面と前記第 2 の傾斜面とを非接触で対向させる非接触装置と、前記第 1 の光学部材と前記第 2 の光学部材とを前記光路の光軸回りに相対的に回転可能な駆動装置とを備えることを特徴とする請求項 1 記載の露光装置。

【請求項 3】 前記像面調整装置は一对のくさび型光学部材でなり、前記一对のくさび型光学部材を貫通する前記光路の光軸回りにそれぞれを相対的に回転可能とする回転装置を備えることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の露光装置。

【請求項 4】 前記像面調整装置は、前記マスク又は前記感光基板の近傍に設けられることを特徴とする請求項 1～3 のいずれか一項記載の露光装置。

【請求項 5】 前記像面調整装置は、前記マスク又は前記感光基板に対して光学的にほぼ共役な位置に設けられることを特徴とする請求項 1～3 のいずれか一項記載の露光装置。

【請求項 6】 前記投影光学系は複数設けられ、前記像面調整装置は前記複数の投影光学系のそれぞれに対応して設けられることを特徴とする請求項 1～5 のいずれか一項記載の露光装置。

【請求項 7】 前記像面調整装置は、前記マスクに設けられたパターンを前記感光基板を載置する基板ステージに設けられた撮像センサにより撮像した結果、もしくは、前記マスクの撓み量を計測する撓みセンサの計測結果に基づいて、駆動制御する制御部を備えたことを特徴とする請求項 1～6 のいずれか一項記載の露光装置。

【請求項 8】 前記制御部は、前記マスクのたわみ量に基づいて、前記像面調整装置を制御することを特徴とする請求項 7 記載の露光装置。

【請求項 9】 前記制御部は、前記マスクと前記感光基板との前記同期移動に合わせて、前記像面調整装置での補正量を制御することを特徴とする請求項 7 又は 8 記載の露光装置。

【請求項 10】 前記制御部は、前記マスクと前記感光基板との前記同期移動に合わせて補正する前記像面調整装置での補正量を予め制御マップとして記憶しているこ

とを特徴とする請求項 9 記載の露光装置。

【請求項 11】 露光光で照明されるマスクと感光基板とを同期移動しつつ前記マスクのパターン像を投影光学系を介して前記感光基板に投影露光する露光方法において、

前記パターン像の像面の光軸方向の位置を調整するとともに前記パターン像の像面傾斜を調整する第 1 ステップと、

前記マスクと前記感光基板とを同期移動させる移動とともに、前記同期移動に伴って前記第 1 ステップで調整する調整量を変化させる第 2 ステップとを含むことを特徴とする露光方法。

【請求項 12】 前記第 2 ステップにより前記同期移動に伴って変化させる前記調整量を、前記同期移動の前に予め計測する第 3 ステップを有することを特徴とする請求項 11 記載の露光方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、マスクと感光基板とを同期移動しつつマスクのパターン像を感光基板に投影露光する露光装置及び露光方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】液晶表示デバイスや半導体デバイス等の電子デバイスは、マスクに設けられているパターンを感光基板上に転写する、いわゆるフォトリソグラフィの手法により製造される。このフォトリソグラフィ工程で使用する露光装置は、パターンを有するマスクを載置して 2 次元移動するマスクステージと感光基板を載置して 2 次元移動する基板ステージとを有し、マスクに設けられたパターンをマスクステージ及び基板ステージを逐次移動しながら投影光学系を介して感光基板に投影露光するものである。露光装置としては、感光基板上にマスクのパターン全体を同時に転写する一括型露光装置と、マスクステージと基板ステージとを同期走査しつつマスクのパターンを連続的に感光基板上に転写する走査型露光装置との 2 種類が主に知られている。このうち、液晶表示デバイスを製造する際には、表示領域の大型化の要求から走査型露光装置が主に用いられている。

【0003】走査型露光装置には、複数の投影光学系を、隣り合う投影領域が走査方向で所定量変位するように、且つ隣り合う投影領域の端部どうしが走査方向と直交する方向に重複するように配置した、いわゆるマルチレンズ方式の走査型露光装置（マルチレンズスキヤン型露光装置）がある。マルチレンズ方式の走査型露光装置は、マスクを複数のスリット状の照明領域で照明し、その照明領域の配列方向に対して直交する方向にマスクと感光基板とを同期走査し、複数の照明領域のそれぞれに対応して設けられた前記複数の投影光学系を介してマスクに設けられているパターンを感光基板上に露光する装置である。

【0004】ここで、マスクの表面（パターン面）と感光基板の表面（露光面）とは露光処理時において投影光学系に関して共役な位置に設定されることが望ましいため、マスク及び感光基板のそれぞれはレベリング装置により姿勢制御されつつ露光処理される。レベリング装置は投影光学系の光軸に沿う方向に変位する複数のアクチュエータを有しており、アクチュエータのそれぞれを適宜駆動することにより、マスクあるいは感光基板を投影光学系の光軸に沿う方向にシフトするとともに光軸に直交する面内の直交 2 軸回りに回転する。

【0005】ところで、マスク及び感光基板の表面には、このマスク及び感光基板自体の平面度や、ステージの保持状態に起因する撓みの発生等によって凹凸が存在する。したがって、局所的に見ると、マスクと感光基板とは投影光学系に関して共役とならない場合がある。

【0006】そこで、従来では、レベリング装置で感光基板などの姿勢制御を行いつつマスクと感光基板とを同期走査することにより、複数の投影光学系のそれぞれの結像位置と感光基板の表面との光軸に沿う方向の距離（フォーカス誤差）が平均的に低減されるように調整しながら露光処理が行われていた。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来技術には以下に述べる問題が生じるようになった。すなわち、レベリング装置により複数の投影光学系のそれぞれにおけるフォーカス誤差を平均的に低減するような調整を行うことにより、感光基板上における複数の投影光学系に対応するそれぞれの位置でのフォーカス誤差はたしかに低減されるが、依然として残存し、製造されるデバイスの更なる高精度化、高集積化に対して制限になる場合がある。更に、近年のマスク及び感光基板の大型化に伴い、撓みに起因するマスク及び感光基板の表面に生じる凹凸の発生は顕著であり、レベリング制御では対応しきれなくなってきた。

【0008】ところで、平行平面ガラス板を投影光学系の光軸に設けることにより投影光学系の結像位置を調整してフォーカス誤差を低減する技術が従来より知られている。しかしながら、平行平面ガラス板では投影光学系の結像位置を連続的に調整できないため、凹凸の様なマスクと感光基板とを同期走査しつつ露光処理を行う場合、投影光学系の結像位置や、像面と走査する感光基板の表面との位置誤差を低減することはできない。

【0009】本発明はこのような事情に鑑みてなされたもので、投影光学系の結像位置及び像面を高精度で連続的に変更調整でき、精度良く露光処理できる露光装置及び露光方法を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記の課題を解決するため本発明は、実施の形態に示す図 1～図 17 に対応付けした以下の構成を採用している。本発明の露光装置（E

X）は、露光光で照明されるマスク（M）と感光基板（P）とを同期移動しつつマスク（M）のパターン像を投影光学系（PL1～PL5）を介して感光基板（P）に投影露光する露光装置において、露光光の光路上に、パターン像の位置をこの像面と直交する方向（Z）に調整するとともにパターン像の像面傾斜を調整する像面調整装置（10）を備えることを特徴とする。

【0011】本発明によれば、パターン像の位置を該像面と直交する方向に調整するとともにパターン像の像面傾斜を調整する像面調整装置を備えたので、像面調整装置は、パターン像の位置を調整することにより、フォーカス誤差を低減できる。また、パターン像の像面傾斜を調整することにより、感光基板やマスクの表面に凹凸が存在していても、パターン像の像面と感光基板の表面とを一致させることができる。したがって、マスクと感光基板とを同期走査しつつ露光処理を行う場合でも、像面と感光基板の表面との位置誤差を低減しつつ走査露光を行うことができる。

【0012】この場合において、像面調整装置（10）は、第 1 の傾斜面（1b）を有し露光光を透過可能な第 1 の光学部材（1）と、第 1 の傾斜面（1b）に対向するように設けられる第 2 の傾斜面（2a）を有し露光光を透過可能な第 2 の光学部材（2）と、第 1 の傾斜面（1b）と第 2 の傾斜面（2a）とを非接触で対向させる非接触装置（11）と、第 1 の光学部材（1）と第 2 の光学部材（2）とを光路の光軸回りに相対的に回転可能な駆動装置（5、6）とを備える構成である。これにより、傾斜面をそれぞれ有する第 1 の光学部材及び第 2 の光学部材のそれぞれを相対的に回転することによって、像面の例えば中央部と端部といった異なる位置に対応する露光光の光路長のそれぞれを異なるように設定できるので、パターン像の像面を光軸に対して傾斜することができる。したがって、感光基板に凹凸が存在していても、この凹凸に合わせて像面を傾斜させればよいので、感光基板の表面と像面との位置誤差を低減しつつ走査露光を行うことができる。

【0013】本発明の露光方法は、露光光で照明されるマスク（M）と感光基板（P）とを同期移動しつつマスク（M）のパターン像を投影光学系（PL1～PL5）を介して感光基板（P）に投影露光する露光方法において、パターン像の像面の光軸方向の位置を調整するとともにパターン像の像面傾斜を調整する第 1 ステップと、マスク（M）と感光基板（P）とを同期移動させる移動とともに、同期移動に伴って第 1 ステップで調整する調整量を変化させる第 2 ステップとを含むことを特徴とする。

【0014】本発明によれば、同期移動に伴って、結像位置及びパターン像の像面傾斜を調整することにより、マスクと感光基板とを同期走査しつつ露光処理するに際し、感光基板やマスクの表面に凹凸が存在していても、

パターンの像面と感光基板の表面とをほぼ一致させつつ露光処理を行うことができる。したがって、精度良い露光処理を行うことができる。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、本発明の露光装置及び露光方法について図面を参照しながら説明する。図1は本発明の露光装置の一実施形態を示す概略構成図、図2は概略斜視図である。

【0016】図1及び図2において、露光装置EXは、露光光でマスクMを照明する照明光学系ILと、マスクMを支持するマスクステージMSTと、露光光で照明されたマスクMのパターン像を感光基板P上に投影する複数の投影光学系PL1～PL5と、感光基板Pを支持する基板ステージPSTと、レーザ光を用いてマスクステージMSTの位置を検出するマスク側レーザ干渉計39a、39bと、レーザ光を用いて基板ステージPSTの位置を検出する基板側レーザ干渉計43a、43bとを備えている。本実施形態における投影光学系はPL1～PL5の5つであり、照明光学系ILは投影光学系PL1～PL5のそれぞれに対応する照明領域でマスクMを照明する。また、感光基板Pはガラスプレートにレジスト（感光剤）を塗布したものである。

【0017】本実施形態における露光装置EXは、マスクステージMSTに支持されているマスクMと基板ステージPSTに支持されている感光基板Pとを同期移動しつつ投影光学系PLを介してマスクMのパターンを感光基板Pに投影露光する走査型露光装置である。以下の説明において、投影光学系PLの光軸方向をZ軸方向とし、Z軸方向に垂直な方向でマスクM及び感光基板Pの同期移動方向（走査方向）をX軸方向とし、Z軸方向及びX軸方向に直交する方向（非走査方向）をY軸方向とする。

【0018】照明光学系ILは、不図示ではあるが、複数の光源と、複数の光源から射出された光束を一旦集合した後に均等分配して射出するライトガイドと、ライトガイドからの光束を均一な照度分布を有する光束（露光光）に変換するオプティカルインテグレータと、オプティカルインテグレータからの露光光をスリット状に整形するための開口を有するブラインドと、ブラインドを通過した露光光をマスクM上に結像するコンデンサレンズとを備えている。コンデンサレンズからの露光光は、マスクMを複数のスリット状の照明領域で照明する。本実施形態における光源には水銀ランプが用いられ、露光光としては、不図示の波長選択フィルタにより、露光に必要な波長であるg線（436nm）、h線（405nm）、i線（365nm）などが用いられる。

【0019】マスクMを支持するマスクステージMSTは移動可能に設けられており、一次元の走査露光を行うべくX軸方向への長いストロークと、走査方向と直交するY軸方向への所定距離のストロークとを有している。

図1に示すように、マスクステージMSTにはマスクステージ駆動部MSTDが接続されており、マスクステージMSTは、マスクステージ駆動部MSTDの駆動により、X軸方向及びY軸方向に移動可能である。マスクステージ駆動部MSTDは制御装置（制御部）CONTにより制御される。

【0020】図2に示すように、マスク側レーザ干渉計は、マスクステージMSTのX軸方向における位置を検出するXレーザ干渉計39aと、マスクステージMSTのY軸方向における位置を検出するYレーザ干渉計39bとを備えている。マスクステージMSTの+X側の端縁にはY軸方向に延在するX移動鏡38aが設けられている。一方、マスクステージMSTの+Y側の端縁にはX移動鏡38aに直交するように、X軸方向に延在するY移動鏡38bが設けられている。X移動鏡38aにはXレーザ干渉計39aが対向して配置されており、Y移動鏡38bにはYレーザ干渉計39bが対向して配置されている。

【0021】Xレーザ干渉計39aはX移動鏡38aにレーザ光を照射する。レーザ光の照射によりX移動鏡38aで発生した光（反射光）はXレーザ干渉計39a内部のディテクタに受光される。Xレーザ干渉計39aは、X移動鏡38aからの反射光に基づいて、内部の参照鏡の位置を基準としてX移動鏡38aの位置、すなわちマスクステージMST（ひいてはマスクM）のX軸方向における位置を検出する。

【0022】Yレーザ干渉計39bはY移動鏡38bにレーザ光を照射する。レーザ光の照射によりY移動鏡38bで発生した光（反射光）はYレーザ干渉計39b内部のディテクタに受光される。Yレーザ干渉計39bは、Y移動鏡38bからの反射光に基づいて、内部の参照鏡の位置を基準としてY移動鏡38bの位置、すなわちマスクステージMST（ひいてはマスクM）のY軸方向における位置を検出する。

【0023】レーザ干渉計39a、39bそれぞれの検出結果は制御装置CONTに出力される。制御装置CONTは、レーザ干渉計39a、39bそれぞれの検出結果に基づいて、マスクステージ駆動部MSTDを介してマスクステージMSTを駆動し、マスクMの位置制御を行う。

【0024】マスクMを透過した露光光は、投影光学系PL1～PL5のそれぞれに入射する。投影光学系PL1～PL5のそれぞれは、マスクMの照明領域に存在するパターンの像を感光基板Pに投影露光するものであり、照明光学系ILによる照明領域のそれぞれに対応して配置されている。投影光学系PL1、PL3、PL5と投影光学系PL2、PL4とは2列に千鳥状に配列されている。すなわち、千鳥状に配置されている投影光学系PL1～PL5のそれぞれは、隣合う投影光学系どうし（例えば投影光学系PL1とPL2、PL2とPL

3) を X 軸方向に所定量変位させて配置されている。投影光学系 PL1~PL5 のそれぞれを透過した露光光は、基板ステージ PST に支持されている感光基板 P 上の異なる投影領域にマスク M の照明領域に対応したパターンの像を結像する。照明領域のマスク M のパターンは所定の結像特性を持って、レジストが塗布された感光基板 P 上に転写される。

【0025】感光基板 P を支持する基板ステージ PST は移動可能に設けられており、一次元の走査露光を行うべく X 軸方向への長いストロークと、走査方向と直交する方向にステップ移動するための Y 軸方向への長いストロークとを有している。基板ステージ PST には、リニアアクチュエータを含む基板ステージ駆動部 PSTD が接続されており (図 1 参照)、基板ステージ PST は基板ステージ駆動部 PSTD の駆動により、X 軸方向、Y 軸方向、及び Z 軸方向に移動可能である。更に、基板ステージ PST は、X 軸回り、Y 軸回り、及び Z 軸回りに回転可能に設けられている。基板ステージ PST は X 軸回り及び Y 軸回りに回転することにより、支持した感光基板 P のレベリング制御を行う。基板ステージ駆動部 PSTD は制御装置 CONT により制御される。

【0026】図 2 に示すように、基板側レーザ干渉計は、基板ステージ PST の X 軸方向における位置を検出する X レーザ干渉計 43a と、基板ステージ PST の Y 軸方向における位置を検出する Y レーザ干渉計 43b とを備えている。基板ステージ PST の +X 側の端縁には Y 軸方向に延在する X 移動鏡 42a が設けられている。一方、基板ステージ PST の -Y 側の端縁には X 移動鏡 42a に直交するように、X 軸方向に延在する Y 移動鏡 42b が設けられている。X 移動鏡 42a には X レーザ干渉計 43a が対向して配置されており、Y 移動鏡 42b には Y レーザ干渉計 43b が対向して配置されている。

【0027】X レーザ干渉計 43a は X 移動鏡 42a にレーザ光を照射する。レーザ光の照射により X 移動鏡 42a で発生した光 (反射光) は、X レーザ干渉計 43a 内部のディテクタに受光される。X レーザ干渉計 43a は、X 移動鏡 42a からの反射光に基づいて、内部の参照鏡の位置を基準として X 移動鏡 42a の位置、すなわち基板ステージ PST (ひいては感光基板 P) の X 軸方向における位置を検出する。

【0028】Y レーザ干渉計 43b は Y 移動鏡 42b にレーザ光を照射する。レーザ光の照射により Y 移動鏡 42b で発生した光 (反射光) は、Y レーザ干渉計 43b 内部のディテクタに受光される。Y レーザ干渉計 43b は、Y 移動鏡 42b からの反射光に基づいて、内部の参照鏡の位置を基準として Y 移動鏡 42b の位置、すなわち基板ステージ PST (ひいては感光基板 P) の Y 軸方向における位置を検出する。

【0029】レーザ干渉計 43a、43b それぞれの

検出結果は制御装置 CONT に出力される。制御装置 CONT は、レーザ干渉計 43a、43b それぞれの検出結果に基づいて、基板ステージ駆動部 PSTD を介して基板ステージ PST を駆動し、感光基板 P の位置制御を行う。

【0030】図 2 に示すように、マスクステージ MST の上方には、マスク M と感光基板 P とのアライメントを行うアライメント系 49a、49b が設けられている。アライメント系 49a、49b は、不図示の駆動機構により Y 軸方向に移動可能となっており、アライメント処理時には照明光学系 IL とマスク M との間に進入するとともに、走査露光時には照明領域から退避するようになっている。アライメント系 49a、49b は、マスク M に形成されているマスクアライメントマーク (不図示) と、感光基板 P に形成されている基板アライメントマーク 52a~52d (図 4 参照) との位置を検出する。アライメント系 49a、49b の検出結果は制御装置 CONT に出力される。制御装置 CONT は、アライメント系 49a、49b の検出結果に基づいて、マスクステージ MST 及び基板ステージ PST の位置制御を行う。

【0031】更に、マスク M には、シフト、ローテーション、スケーリング等といった各種像特性の補正量算出に用いられる複数のマスクマーク (不図示) が形成されている。一方、感光基板 P にも、像特性の補正量算出に用いられる複数の基板マーク (不図示) が形成されている。

【0032】図 1 に示すように、複数の投影光学系 PL1~PL5 の間には、フォーカスセンサ 20 が設けられている。このフォーカスセンサ 20 は、Y 軸方向に沿って複数設けられており、本実施形態では、後述するように 5 つ設けられている。フォーカスセンサ 20 は、マスク M との相対距離及び感光基板 P との相対距離を計測可能であり、マスクステージ MST に支持されているマスク M の Z 軸方向における位置及び基板ステージ PST に支持されている感光基板 P の Z 軸方向における位置を検出する。フォーカスセンサ 20 の検出結果は制御装置 CONT に出力され、制御装置 CONT はフォーカスセンサ 20 の検出結果に基づいて、基板ステージ駆動部 PSTD を介して基板ステージ PST の位置制御、ひいては感光基板 P の位置制御を行う。

【0033】本実施形態において、マスクステージ MST 及び基板ステージ PST のそれぞれは制御装置 CONT の制御のもとでマスクステージ駆動部 MSTD 及び基板ステージ駆動部 PSTD により独立して移動可能となっている。マスク M を支持したマスクステージ MST と感光基板 P を支持した基板ステージ PST とは投影光学系 PL に対して任意の走査速度 (同期移動速度) で X 軸方向に同期移動する。基板ステージ PST が静止した状態では、感光基板 P 上に投影されるのはスリット状 (台形状) のパターン像であり、マスク M に設けられている

マスクパターンの一部であるが、マスクMを支持するマスクステージMSTと感光基板Pを支持する基板ステージPSTとを、マスクM上の照明領域及び投影光学系PL1~PL5に対して同期走査することで、マスクMに設けられているマスクパターンの全てが感光基板P上に転写される。

【0034】図3は投影光学系PL1 (PL2~PL5) の概略構成図である。ここで、図3には投影光学系PL1に対応するもののみが示されているが、投影光学系PL1~PL5のそれぞれは同様の構成を有している。また、本実施形態において、投影光学系は、等倍正立系の光学系である。図3に示すように、投影光学系PL1は、2組のダイソン型光学系を組み合わせた構成であり、シフト調整機構23と、二組の反射屈折型光学系24、25と、像面調整装置10と、不図示の視野絞りと、スケーリング調整機構27とを備えている。

【0035】マスクMを透過した光束は、シフト調整機構23に入射する。シフト調整機構23は2つの平行平面ガラス板を有しており、不図示の駆動装置により2つの平行平面ガラス板のそれぞれがY軸回り及びX軸回りに回転することにより、感光基板P上におけるパターン像をX軸方向及びY軸方向にシフトする。

【0036】シフト調整機構23を透過した光束は、1組目の反射屈折型光学系24に入射する。反射屈折型光学系24は、マスクMのパターンの中間像を形成するのであって、直角プリズム28と、レンズ系29と、凹面鏡30とを備えている。

【0037】直角プリズム28はZ軸まわりに回転可能に設けられており、不図示の駆動装置によりZ軸回りに回転する。直角プリズム28がZ軸回りに回転することにより感光基板P上におけるマスクMのパターン像はZ軸回りに回転する。すなわち、直角プリズム28はローテーション調整機構としての機能を有している。

【0038】反射屈折型光学系24により形成されるパターンの中間像位置には不図示の視野絞りが配置されている。視野絞りは、感光基板P上における投影領域を設定するものである。本実施形態において、視野絞りは台形状の開口を有し、この視野絞りにより感光基板P上の投影領域が台形状に規定される(図4符号50a~50e参照)。視野絞りを透過した光束は、2組目の反射屈折型光学系25に入射する。

【0039】反射屈折型光学系25は、反射屈折型光学系24と同様に、ローテーション調整機構としての直角プリズム31と、レンズ系32と、凹面鏡33とを備えている。直角プリズム31も不図示の駆動装置の駆動によりZ軸回りに回転するようになっており、回転することで感光基板P上におけるマスクMのパターン像をZ軸回りに回転する。

【0040】反射屈折型光学系25から射出した光束は、スケーリング調整機構27を通り、感光基板P上に

マスクMのパターン像を正立等倍で結像する。スケーリング調整機構27は、例えば、平凸レンズ、両凸レンズ、平凸レンズの3枚のレンズから構成され、平凸レンズと平凹レンズとの間に位置する両凸レンズを不図示の駆動装置によりZ軸方向に移動させることにより、マスクMのパターン像の倍率(スケーリング)調整を行うようになっている。

【0041】図4は、感光基板P及び投影領域を示す平面図である。図4に示すように、投影光学系PL1~PL5は、投影光学系内の視野絞りにより投影領域50a~50eを台形状に規定する。ここで、投影光学系PL1、PL3、PL5のそれぞれに対応する投影領域は50a、50c、50eであり、投影光学系PL2、PL4のそれぞれに対応する投影領域は50b、50dである。投影領域50a、50c、50eのそれぞれがY軸方向に沿って配列され、投影領域50b、50dのそれぞれがY軸方向に沿って配列されている。そして、投影領域50a、50c、50eと投影領域50b、50dとはX軸方向にその上辺(一对の平行な辺のうちの短辺)を対向して配置されている。更に、投影領域50a~50eのそれぞれは隣り合う投影領域の端部(継ぎ部)どうしが破線で示すように、Y軸方向に重ね合わせるように並列配置され、X軸方向における投影領域の幅の総計がほぼ等しくなるように設定されている。すなわち、X軸方向に走査露光したときの露光量が等しくなるように設定されている。投影領域50a~50eのそれぞれが重ね合わせられる継ぎ部により、継ぎ部における光学収差の変化や照度変化が滑らかになる。なお、本実施形態の投影領域50a~50eの形状は台形であるが、六角形や菱形、あるいは平行四辺形であっても構わない。

【0042】露光装置EXでは、投影領域50a、50c、50eと、投影領域50b、50dとはX軸方向に離れて設定されているため、Y軸方向に伸びるパターンは、まず空間的に分離した飛び飛びの投影領域50a、50c、50eによって露光された後、ある時間においてその間を埋める投影領域50b、50dで露光されるというように、時間的及び空間的に分割されて露光される。

【0043】図1に戻って、基板ステージPST上には感光基板Pの露光面とほぼ同じ高さに撮像センサ41が配設されている。撮像センサ41は、感光基板P上の露光光の光量に関する情報(照度、コントラスト)を検出するセンサであってCCDセンサにより構成されており、感光基板P上の投影光学系PL1~PL5のそれぞれに対応する位置、すなわち投影領域50a~50eの露光光の照度を2次元的に検出する。撮像センサ41は、基板ステージPST上にY軸方向に配設されたガイド軸(不図示)により感光基板Pと同一平面の高さに設置されており、撮像センサ駆動部によりY軸方向に移動

可能に設けられている。撮像センサ41は、1回又は複数回の露光に先立ち、基板ステージPSTのX軸方向の移動と撮像センサ駆動部によるY軸方向の移動とにより、投影光学系PL1~PL5に対応する投影領域50a~50eのそれぞれの下で走査する。したがって、感光基板P上の投影領域50a~50eの照度は撮像センサ41により2次的に検出されるようになっている。撮像センサ41により検出された露光光の照度は制御装置CONTに出力される。制御装置CONTは、基板ステージ駆動部PSTD及び撮像センサ駆動部の各駆動量により、撮像センサ41の位置を検出可能となっている。また、制御装置CONTは、撮像センサ41の検出結果に基づいて、各投影領域50a~50eのそれぞれの形状を求めることができる。

【0044】そして、撮像センサ41は、撮像領域50a~50eのコントラストを2次的に検出することにより、投影光学系PL1~PL5の結像位置（焦点位置）及び像面を検出可能である。すなわち、撮像センサ41を例えば投影光学系PL1に対応する投影領域50aに配置するとともに、このセンサ41を基板ステージPSTごとZ軸方向に移動しつつマスクMのパターンのコントラストを測定する。制御装置CONTは撮像センサ41により撮像した結果に基づいて、最大コントラストを得られるZ軸方向における位置を投影光学系PL1の結像位置とする。また、撮像センサ41は、投影領域50aのコントラストを2次的に検出可能であるので、投影光学系PL1を介したパターンの像面の位置も検出することができる。例えば、投影領域（パターン像）50aにおけるパターン像が領域内で一様のコントラストであれば、投影光学系PL1の像面と撮像センサ41を移動させた基板ステージPSTの走り平面とは平行であることを示している。一方、投影領域50aの領域において一様のコントラストが得られない場合には、投影光学系PL1の像面が基板ステージPSTの走り平面に対して傾斜していることを示している。また、撮像センサ41を投影光学系PL1のZ軸方向に移動させてパターンのコントラストのよいところを検出することにより、正確な像面の位置（結像位置）を計測することができる。

【0045】また、撮像センサ41は、マスクMのパターンのコントラストを検出することにより、マスクMの撓み量を検出可能である。すなわち、マスクステージMSTに支持されているマスクMが撓んでいる場合には、投影領域50a~50eのそれぞれにおけるパターンのコントラストは一様ではなくなるので、撮像センサ41を用いて投影領域50a~50eそれぞれの領域におけるパターンのコントラストの最もよいところを検出することにより、投影領域50a~50eのそれぞれに対応する像面の位置の変化を測定することができる。ここで、制御装置CONT（あるいは制御装置CONTに接

続する記憶装置）には、マスクMのパターンを計測した位置と検出により求めた投影光学系の像面位置との関係を記憶するようにしておくことにより、パターンの位置と像面位置との関係より一般的なマスクの撓み及び像面位置を予測することが可能となる。なお、撮像センサ41を用いて視野絞りの開口の形状、つまり投影領域の形状のエッジの一边を複数点計測することにより、投影領域の形状変化、シフト及び回転などを同時に計測することができる。

【0046】次に、図1及び図4を参照しながらフォーカスセンサ20について説明する。マスクMと感光基板Pとの間の部分であって、投影領域50a、50c、50eに対応する投影光学系PL1、PL3、PL5と、投影領域50b、50dに対応する投影光学系PL2、PL4との間で、図4で十字線「+」で示されている位置に対応する位置において、Y軸方向に配列された複数のフォーカスセンサ20で測定する場合が示されている。本実施形態において、フォーカスセンサ20は5つ設けられている。これらのフォーカスセンサ20は、マスクMの表面（パターン面）と感光基板Pの表面（露光面）とのそれぞれに対してレジストを感光しない波長を有する検出光を照射し、マスクM及び感光基板Pで発生した光（反射光）を検出することにより、マスクMの表面及び感光基板Pの表面のZ軸方向における位置を検出する。フォーカスセンサ20の検出結果は制御装置CONTに出力される。

【0047】そして、マスクMを支持したマスクステージMST及び感光基板Pを支持した基板ステージPSTをX軸方向に走査しつつ、これら複数のフォーカスセンサ20のそれぞれの検出結果に基づいて、X軸方向において所定のサンプリングピッチでマスクM及び感光基板PのZ軸方向における位置を検出することにより、ステージの送り量により規定されるX軸座標と、フォーカスセンサ20のY軸方向における設置位置により規定されるY軸座標とに対応する位置におけるマスクM及び感光基板PそれぞれのZ軸方向の位置からなる表面データを得ることができる。

【0048】これらマスクM及び感光基板Pの表面データは、マスクM及び感光基板Pそれぞれの平面度、マスクステージMST及び基板ステージPSTの保持状態に起因する撓み、ステージの送りの不均一等によるマスクM及び感光基板Pそれぞれの表面の凹凸を示すデータである。この表面データは制御装置CONT、あるいは制御装置CONTに接続する不図示の記憶装置に記憶保持される。

【0049】なお、フォーカスセンサ20の測定は連続的に行うようにしてもよい。更に、先に求めたマスクMの像面位置とマスクMの表面位置との対応関係を求めることにより、マスクMの表面の位置に基づいて、像面位置を逐次計測をせずとも容易に推測することができる。

【0050】図3に示したように、投影光学系PL1～PL5の二組の反射屈折型光学系24、25の間の光路上には、投影光学系PL1の結像位置及び像面の傾斜を調整する像面調整装置10がそれぞれ設けられている。ここで、像面調整装置10は、反射屈折型光学系24による中間像が形成される位置近傍に設けられている。すなわち、像面調整装置10は、マスクM及び感光基板Pに対してほぼ共役な位置に設けられている。像面調整装置10は、複数の投影光学系PL1～PL5のそれぞれに対応して設けられている。

【0051】図5は像面調整装置10の外観図であって(a)は-Y側から見た図、(b)は+Z側から見た図である。図5に示すように、像面調整装置10は、第1光学部材(第1の光学部材)1と、第2光学部材(第2の光学部材)2と、第1光学部材1及び第2光学部材2を非接触状態に支持するエアベアリング(非接触装置)11と、第2光学部材2に対して第1光学部材1を移動するリニアアクチュエータ(駆動装置)3、5、6とを備えている。第1光学部材1及び第2光学部材2のそれぞれはくさび状に形成され露光光を透過可能なガラス板であり、一対のくさび型光学部材を構成している。露光光は、この第1光学部材1及び第2光学部材2のそれぞれを通過する。

【0052】第1光学部材1は、光入射面としての第1入射面1aと、この第1入射面1aに対して斜めに交わる光射出面としての第1射出面(第1の傾斜面)1bとを有している。また、第2光学部材2は、第1光学部材1の第1射出面1bに対向するように設けられこの第1射出面1bと略平行な光入射面としての第2入射面(第2の傾斜面)2aと、第1光学部材1の第1入射面1aに対して略平行な光射出面としての第2射出面2bとを有している。

【0053】第1光学部材1と第2光学部材2とは、エアベアリング(非接触装置)11により、対向する第1射出面1bと第2入射面2aとを非接触状態に保持されている。

【0054】図6は、非接触装置としてのエアベアリング11を示す図であって、第1光学部材1の第1射出面1bの平面図である。図6に示すように、エアベアリング11は、第1光学部材1の第1射出面1bに形成された複数の陽圧溝1cと、複数の負圧溝1dとを備えている。本実施形態では、図6に示すように、陽圧溝1cを挟んで両側にそれぞれ負圧溝1dを配置したものが、第1射出面1bの両端部近傍の2箇所に配置されている。

【0055】図5に示すように、陽圧溝1cのそれぞれは、流路を介して不図示の陽圧供給源(圧縮ガス供給装置)V1に接続されており、陽圧供給源V1が駆動することにより圧縮ガス(圧縮空気)が陽圧溝1cに供給され、第1光学部材1を第2光学部材2に対して離間(浮上)させる方向に付勢する。一方、負圧溝1dは流路を

介して不図示の負圧供給源(真空吸引装置)V2に接続されており、負圧供給源V2が駆動することにより負圧溝1d内のガスが真空吸引され、第1光学部材1を第2光学部材2に対して近接(接触)させる方向に付勢する。

【0056】陽圧供給源V1と負圧供給源V2とを適宜制御して、陽圧溝1cによる反発力と負圧溝1dによる吸引力とを所定値に維持することにより、第1光学部材1の第1射出面1bと第2光学部材2の第2入射面2aとが一定のギャップGを維持した状態で対向する。ここで、ギャップGの大きさは、露光装置EXで許容できる光学的収差に基づいて設定される。すなわち、ギャップGが大きくなりすぎると、光学的な収差が発生してしまうので、例えば数 μm ～数 $10\mu\text{m}$ 程度に設定されることが好ましい。

【0057】ここで、第2光学部材2の第2入射面2aには、クロム膜等の接触防止膜9が矩形状に形成されており、エアベアリング11が駆動していない状態において、第1光学部材1の第1射出面1bと第2光学部材2の第2入射面2aとの直接的な接触を防止している。

【0058】図5に示すように、第1光学部材1には、この第1光学部材1の+X側端面に接続するリニアアクチュエータ3と、第1光学部材1の+Y側端面に接続するリニアアクチュエータ(駆動装置)5及びリニアアクチュエータ(駆動装置)6とを備えている。リニアアクチュエータ5は第1光学部材1の+Y側端面のうち+X側端部に接続し、リニアアクチュエータ6は第1光学部材1の+Y側端面のうち-X側端部に接続している。

【0059】また、第1光学部材1には、この第1光学部材1を第2光学部材2に対してスライド可能に支持する不図示のガイド部が接続されている。一方、第2光学部材2は不図示のフレームなどにより固定されている。なお、第1光学部材1を固定して第2光学部材2を移動可能に構成し、あるいは、第1及び第2光学部材1、2の双方を移動可能に構成することももちろん可能である。

【0060】リニアアクチュエータ3が駆動することにより、第1光学部材1は、第1射出面1bを第2光学部材2の第2入射面2aに対してスライドさせるように、X軸方向に移動する。

【0061】ここで、リニアアクチュエータ3の駆動量及び駆動速度(すなわち第1光学部材1の移動量及び移動速度)は制御装置CONTにより制御される。第1光学部材1の-X側端面には、第1光学部材1のX軸方向における位置を検出可能なポテンショメータやリニアエンコーダからなる位置検出装置4が設けられており、位置検出装置4は移動する第1光学部材1の基準位置に対する移動量、すなわちX軸方向における位置を検出する。位置検出装置4の検出結果は制御装置CONTに出力されるようになっており、制御装置CONTは、位置

10

20

30

40

50

検出装置 4 の検出結果に基づいて第 1 光学部材 1 の X 軸方向における位置を求める。そして、制御装置 CONT は前記求めた結果に基づいてリニアアクチュエータ 3 を駆動し、第 1 光学部材 1 を X 軸方向において所定の位置に位置決めする。また、制御装置 CONT は、単位時間当たりの第 1 光学部材 1 の移動量に基づいて第 1 光学部材 1 の移動速度も求めることができる。

【0062】一方、リニアアクチュエータ 5 及びリニアアクチュエータ 6 のうち少なくともいずれか一方が駆動することにより、第 1 光学部材 1 は、第 1 射出面 1 b を第 2 光学部材 2 の第 2 入射面 2 a に対してスライドさせるように、Z 軸回り（光軸回り）に回転移動する。ここで、リニアアクチュエータ 5、6 の駆動量（移動量）が同じであれば第 1 光学部材 1 は Y 軸方向に移動し、駆動量が異なれば第 1 光学部材 1 は Z 軸回りに回転する。

【0063】リニアアクチュエータ 5、6 のそれぞれの駆動量及び駆動速度（すなわち第 1 光学部材 1 の回転量及び回転速度）は制御装置 CONT により制御される。第 1 光学部材 1 の -Y 側端面には、第 1 光学部材 1 の Y 軸方向における位置を検出可能なポテンショメータやリニアエンコーダからなる位置検出装置 7、8 が設けられている。位置検出装置 7 は第 1 光学部材 1 の -Y 側端面における +X 側端部に接続しており、位置検出装置 8 は第 1 光学部材 1 の -Y 側端面における -X 側端部に接続している。位置検出装置 7、8 のそれぞれの移動する第 1 光学部材 1 の基準位置に対する移動量、すなわち Y 軸方向における位置を検出する。位置検出装置 7、8 の検出結果は制御装置 CONT に出力されるようになっており、制御装置 CONT は、2 つの位置検出装置 7、8 のそれぞれの検出結果に基づいて、第 1 光学部材 1 の Z 軸回りに関する位置）を求める。そして、制御装置 CONT は前記求めた結果に基づいてリニアアクチュエータ 5 あるいはリニアアクチュエータ 6 を駆動し、第 1 光学部材 1 を Z 軸回りにて所定量回転し位置決めする。また、制御装置 CONT は、単位時間当たりの第 1 光学部材 1 の回転量に基づいて第 1 光学部材 1 の回転速度も求めることができる。

【0064】図 7 は、第 2 光学部材 2 に対して第 1 光学部材 1 を X 軸方向にスライドした際に投影光学系の結像位置が変化する様子を説明する図である。図 7 に示すように、第 1 光学部材 1 を破線で示す位置（符号 1' 参照）から、実線で示す位置（符号 1 参照）にスライドすることにより、第 1 光学部材 1 の第 1 入射面 1 a と第 2 光学部材 2 の第 2 射出面 2 b との相対寸法（厚さ）が変更される。すると、結像位置は距離 δ だけ変更される。すなわち、図 7 に示すように、第 1 光学部材 1 が -X 側に移動して第 1 光学部材 1 の第 1 入射面 1 a と第 2 光学部材 2 の第 2 射出面 2 b との相対寸法が大きくなると、結像位置は -Z 側にシフトする。一方、相対寸法が小さくなると、結像位置は +Z 側にシフトする。したがって、第

1 光学部材 1 を第 2 光学部材 2 に対して X 軸方向にスライドすることにより、像面調整装置 10 は投影光学系 PL1~PL5 それぞれの結像位置を調整することができる。

【0065】図 8 は、リニアアクチュエータ 3、5、6 のそれぞれを用いて第 1 光学部材 1 を第 2 光学部材 2 に対して移動した際の像面の位置を説明するための模式図である。図 8 (a1) に示すように、第 1 光学部材 1 を破線で示す位置（符号 1' 参照）から実線で示す位置（符号 1 参照）まで、第 2 光学部材 2 に対して X 軸方向にスライド移動することにより、図 8 (a2) に示すように、パターンの像面の位置は、Z 軸方向、すなわち像面と直交する方向に移動する。図 8 (a1) に示す例では、第 1 光学部材 1 が +X 側に移動することにより第 1 光学部材 1 の第 1 入射面 1 a と第 2 光学部材 2 の第 2 射出面 2 b との相対寸法は小さくなるため、像面は +Z 側に移動する。

【0066】ここで、像面の Z 軸方向における移動量 δ は、リニアアクチュエータ 3 の駆動量（補正量）に基づく。リニアアクチュエータ 3 の駆動量と像面の Z 軸方向における移動量 δ との関係は、例えば実験的あるいは数値計算を用いて予め求めることができる。そして、前記関係は制御装置 CONT に接続する記憶装置に記憶される。

【0067】図 8 (b1) に示すように、第 1 光学部材 1 を破線で示す位置（符号 1' 参照）から実線で示す位置（符号 1 参照）まで、第 2 光学部材 2 に対して Z 軸回りに回転することにより、すなわち、回転装置（駆動装置）としてのリニアアクチュエータ 5、6 を用いて一對のくさび型光学部材である第 1、第 2 光学部材 1、2 を、これを貫通する光路の光軸回りに相対的に回転することにより、図 8 (b2) に示すように、パターンの像面は X 軸と Y 軸とでなる XY 平面に対して傾斜する（X 軸回りに回転する）。つまり、第 1 光学部材 1 を第 2 光学部材 2 に対して回転することにより、図 8 (b1) に示すように、像面調整装置 10 のうち、-Y 側端部における第 1 光学部材 1 の第 1 入射面 1 a と第 2 光学部材 2 の第 2 射出面 2 b との相対寸法は小さくなり、一方、+Y 側端部における第 1 光学部材 1 の第 1 入射面 1 a と第 2 光学部材 2 の第 2 射出面 2 b との相対寸法は大きくなる。そして、この相対寸法は、-Y 側端部から +Y 側端部に亘って連続的に変化するため、図 8 (b2) に示すように、パターンの像面は XY 平面に対して傾斜する。

【0068】ここで、像面の Y 軸に対する回転量 r は、リニアアクチュエータ 5、6 の駆動量（補正量）に基づく。リニアアクチュエータ 5、6 の駆動量と像面の Y 軸に対する回転量 r との関係は、例えば実験的あるいは数値計算を用いて予め求めることができる。そして、前記関係は制御装置 CONT に接続する記憶装置に記憶される。

【0069】なお、本実施形態において、第1光学部材1を第2光学部材2に対して回転する回転装置は、2つのリニアアクチュエータ5, 6により構成されているが、第1光学部材1と第2光学部材2とを相対的に回転可能であれば任意の装置を用いることができる。

【0070】次に、上述した構成を有する露光装置EXを用いて、マスクMのパターン像を投影光学系PL1～PL5を介して感光基板Pに投影露光する方法の第1実施形態について図9を参照しながら説明する。まず、制御装置CONTは、基板ステージPSTに設けられている撮像センサ41を用いて投影領域50a～50eのコントラストを検出し、投影光学系PL1～PL5それぞれの結像位置及び像面傾斜を検出する（ステップSA1）。具体的には、制御装置CONTは、マスクステージMST及び基板ステージPSTにマスクM及び感光基板Pを載置しない状態で、照明光学系ILより露光光を射出する。これと同時に、撮像センサ41がX軸方向及びY軸方向に移動し、投影光学系PL1～PL5のそれぞれに対応した投影領域50a～50eを走査する。走査する撮像センサ41により、各投影領域50a～50eにおけるコントラストが2次元的に検出される。撮像センサ41は投影領域50a～50eのコントラストの検出結果を制御装置CONTへ出力する。

【0071】ここで、制御装置CONTは、投影領域50a～50eのそれぞれに撮像センサ41を配置した状態で、基板ステージPSTをZ軸方向に移動しながらコントラスト検出を行うことにより、投影光学系PL1～PL5それぞれの結像位置（像面のZ軸方向における位置）を検出する。更に、制御装置CONTは、投影領域50a～50eのそれぞれのコントラストを撮像センサ41によって2次元的に検出することにより、投影光学系PL1～PL5のそれぞれの像面傾斜を検出する。

【0072】例えば、投影光学系PL1の結像位置（像面のZ軸方向における位置）を検出する際には、制御装置CONTは、撮像センサ41を投影領域50aに配置し、基板ステージPSTとともにZ軸方向に移動しつつコントラスト検出を行い、最大コントラストを検出するZ軸方向における位置を結像位置とする。一方、像面傾斜を検出する際には、制御装置CONTは、撮像センサ41で投影領域50aの複数点の結像位置の計測に基づいて求める。

【0073】次いで、制御装置CONTは、第1光学部材1及び第2光学部材2を用いて像面の位置を補正する（ステップSA2）。すなわち、制御装置CONTは、像面調整装置10の第1光学部材1を第2光学部材2に対してX軸方向に移動するとともに、第1光学部材1を第2光学部材2に対してZ軸回りに回転しつつ、撮像センサ41により投影光学系PL1～PL5のそれぞれに関してコントラスト検出を行い、この検出結果に基づいて、投影光学系PL1～PL5のそれぞれの結像位置が

Z軸方向で同じ位置になるように、且つ、投影領域50a～50eのそれぞれが所定の台形状を有するように、像面の位置を補正する。これにより、投影光学系PL1～PL5それぞれの像面のZ方向における位置は同じになり、且つ、投影光学系PL1～PL5それぞれの光軸と像面とは直交する。

【0074】そして、制御装置CONTは、このときの投影光学系PL1～PL5それぞれの第1光学部材1及び第2光学部材2のX軸方向及びZ軸回りに関する位置（姿勢）を初期位置として設定し、記憶装置に記憶する。こうして、投影光学系PL1～PL5それぞれの像面のZ軸方向における位置が互いに等しくなるように、且つ、投影光学系PL1～PL5それぞれの像面と光軸とが直交するようにキャリブレーションが行われる。なお、第1光学部材1及び第2光学部材2の初期位置としては、投影光学系PL1～PL5それぞれの像面のZ軸方向及びX軸回りに関する位置を一致させる位置である必要はない。換言すれば、キャリブレーションは、投影光学系PL1～PL5それぞれの像面のZ軸方向における位置が互いに等しくなるように、且つ、投影光学系PL1～PL5それぞれの像面と光軸とが直交するように行う必要はなく、例えば感光基板Pの表面形状に応じて、投影光学系PL1～PL5それぞれの像面のZ軸方向における位置を互いに異ならせて設定したり、投影光学系PL1～PL5それぞれの像面と光軸とを傾斜して設定するようなキャリブレーションを行ってもよい。

【0075】次いで、マスクステージMSTに対してマスクMがロードされる（ステップSA3）。なお、このとき、感光基板Pは基板ステージPSTにロードされていない。

【0076】マスクMがロードされたら、制御装置CONTは、マスクMの撓み量を検出する（ステップSA4）。具体的には、制御装置CONTは、照明光学系ILによりマスクMを露光光で照明しつつ、マスクMを支持するマスクステージMSTと撮像センサ41を備えた基板ステージPSTとを投影光学系PL1～PL5に対してX軸方向に同期移動する。制御装置CONTは、走査するマスクMを介した露光光を撮像センサ41で検出することにより、マスクMの走査方向における複数位置を介した露光光に基づく投影領域50a～50eのパターンのコントラストを検出する。撮像センサ41の検出結果は制御装置CONTに出力される。制御装置CONTは撮像センサ41で検出した投影領域50a～50eそれぞれのパターンのコントラストに基づいて、マスクMの撓み量を求める。すなわち、マスクステージMSTに支持されているマスクMが撓んでいる場合には、マスクMを介した露光光に基づく投影領域50a～50eそれぞれのパターンは結像しないので、撮像センサ41は、投影領域50a～50eそれぞれのパターンのコントラストのよい位置を検出することにより、投影領域5

0 a ~ 5 0 e のそれぞれに対応する像面の位置を検出することができる。ここで、像面の位置とは、Z 軸方向における位置、及び Y 軸に対する傾斜方向における位置を含む。

【0077】制御装置 CONT（あるいは制御装置 CONT に接続する記憶装置）には、マスク M の撓み量と、その際の投影光学系の像面位置との関係が予め記憶されており、制御装置 CONT は、この関係に基づいて、走査方向の複数位置におけるマスク M の撓み量から像面位置を求めることができる。また、マスク M の撓み量につ
10 いては、マスク M が変わっても大きく変わることが少ないので、予め記憶された撓み量に対応して像面調整装置 10 が調整されており、撓み量が異なるマスクが使用された際には、その差分を像面調整装置で補正するようにすればよい。また、基準となるマスクを用いて像面位置を調整する際に、像面調整装置 10 の駆動位置は中立の位置となるようにしておき、他に付属する光学系もしくは投影光学系の一部の光学部材を調整することにより、像面位置の調整を行う。結果として像面調整装置 10 の駆動マージンを確保することができる。また、初期設定
20 も短時間で行うことができる。なお、マスク側のフォーカスセンサ 20 を用いることにより、露光中においてもマスクの撓み量を計測することができ、露光中にもマスクの撓み量に基づいて随時像面位置を求めることができ、それにより像面調整装置 10 により補正することが可能である。また、マスクの撓みに基づく像面位置の制御と合わせ、感光基板 P の露光面をフォーカスセンサ 20 で計測しておき、像面位置と感光基板 P の露光面とがほぼ一致するように像面調整装置 10 を制御するようにすれば、マスク M のパターンを精度良く感光基板 P に結
30 像することができる。そして、走査方向の複数位置におけるマスク M の撓み量に基づいて、制御装置 CONT は、マスク M の表面の近似曲面を算出する（ステップ SA 5）。

【0078】次いで、感光基板 P が基板ステージ PST にロードされる（ステップ SA 6）。

【0079】感光基板 P が基板ステージ PST にロードされたら、制御装置 CONT は、露光処理を行う前の予備走査を行う。すなわち、制御装置 CONT は、照明光学系 IL による照明を行わない状態で、例えば照明光学系 IL の照明光を不図示のシャッタにより遮断した状態で、マスク M を支持するマスクステージ MST と感光基板 P を支持する基板ステージ PST とを投影光学系 PL 1 ~ PL 5 に対して X 軸方向に同期移動する。この予備走査中に、アライメント系 49 a、49 b がマスク M と感光基板 P とのアライメントを行う。

【0080】まず、制御装置 CONT は、アライメント系 49 a、49 b を用いてマスク M 及び感光基板 P の X 軸方向及び Y 軸方向における相対的な位置（姿勢）検出を行う（ステップ SA 7）。

【0081】具体的には、アライメント系 49 a、49 b が所定の検出位置である照明光学系 IL とマスク M との間に進入し、感光基板 P の基板アライメントマーク 52 c、52 b が投影領域 50 a、50 e の位置にきたときに、アライメント系 49 a、49 b により、基板アライメントマーク 52 c、52 b とこれらに対応するマスク M に形成されているマスクアライメントマークとの相対的な位置ずれが検出され、次いで、感光基板 P の基板アライメントマーク 52 d、52 a が投影領域 50 a、
50 e の位置にきたときにアライメント系 49 a、49 b により、基板アライメントマーク 52 d、52 a とこれらに対応するマスク M に形成されているマスクアライメントマークとの相対的な位置ずれが検出される。

【0082】制御装置 CONT は、アライメント系 49 a、49 b の検出結果に基づいて、マスクステージ駆動部 MST D 及び基板ステージ駆動部 PST D を介してマスクステージ MST 及び基板ステージ PST を駆動し、マスク M と感光基板 P とを位置合わせする（ステップ SA 8）。

【0083】一方、上記ステップ SA 7 の処理と並行して、フォーカスセンサ 20 が、感光基板 P の表面の Z 軸方向における相対距離検出を行う（ステップ SA 9）。制御装置 CONT は、予備走査中に、フォーカスセンサ 20 を用いて、感光基板 P の表面の Z 軸方向における相対距離の検出、すなわち、感光基板 P の表面の Z 軸方向における位置検出を行う。具体的には、マスク M と感光基板 P とを走査しつつ、複数のフォーカスセンサ 20 のそれぞれによる感光基板 P についてのフォーカス信号に基づいて、感光基板 P の Z 軸方向における位置を所定のピッチでサンプリングすることにより、制御装置 CONT は、基盤目状に規定された所定の X 座標及び Y 座標に対応する感光基板 P の Z 軸方向における相対距離を表面データとして記憶装置に記憶する。この表面データの X 軸方向におけるサンプリング位置は、図 4 において、十字線及び十字点線で示された位置である。なお、感光基板 P の X 軸方向におけるサンプリング数を多くするほど表面データ精度は向上するが、信号処理や演算処理に要する時間等との関係を考慮して適宜設定される。なお、基盤目状のセンサを使えばリアルタイムで計測できるため、ラインで計測できる。

【0084】制御装置 CONT は、記憶装置に記憶されている、XY 平面内での離散的な位置における Z 軸方向の相対距離の集合としての表面データに基づいて、感光基板 P の表面形状の近似曲面を最小自乗法等の近似方法を用いて算出する（ステップ SA 10）。すなわち、制御装置 CONT は、フォーカスセンサ 20 による感光基板 P の複数位置における検出結果に基づいて、感光基板 P の平面度を求める。

【0085】次に、制御装置 CONT は、ステップ SA 5 で求めたマスク M の表面形状に関する情報と、ステッ

ブ SA10 で求めた感光基板 P の表面形状に関する情報とに基づいて、マスク M と感光基板 P との Z 軸方向における相対距離を求め、これを表面データとする（ステップ SA11）。制御装置 CONT は、前記求めた結果（表面データ）に基づいて、複数の投影光学系 PL1 ～ PL5 のそれぞれについてのフォーカス誤差、及び像面と感光基板表面との位置誤差（像面位置誤差）を求める。

【0086】次に、制御装置 CONT はレベリング制御量を算出する（ステップ SA12）。具体的には、制御装置 CONT は、ステップ SA2 で設定した投影光学系 PL1 ～ PL5 それぞれの結像位置（焦点距離）と、ステップ SA11 で求めた表面データとに基づいて、フォーカス誤差（投影光学系 PL1 ～ PL5 の結像位置と表面データとの Z 軸方向における距離）が Y 軸方向に亘って最小となるような、基板ステージ PST の X 軸回りの回転量及び Z 軸方向におけるシフト量を算出し、これを基板ステージ PST の姿勢を調整する基板ステージ駆動部 PSTD に対するレベリング制御量とする。また、基板ステージ PST の Y 軸回りにの回転についても補正制

御する場合には、この Y 軸回りの回転量を同様に算出し、これも含めて基板ステージ駆動部 PSTD に対するレベリング制御量とする。このレベリング制御量は、基板ステージ PST の X 軸方向への送り量（移動量）に応じて所定の送り量毎に算出される。

【0087】次に、制御装置 CONT は、ステップ SA12 で算出したレベリング制御量に基づいて、ステップ SA11 で算出した表面データを補正し、新たな表面データを求める（ステップ SA13）。

【0088】制御装置 CONT は、ステップ SA2 で設定した投影光学系 PL1 ～ PL5 それぞれの結像位置と、ステップ SA13 で求めた新たな表面データとに基づいて、残留するフォーカス誤差を求め、この求めた結果に基づいて、投影光学系 PL1 ～ PL5 それぞれの結像位置の補正量を求める（ステップ SA14）。具体的には、制御装置 CONT は、残留するフォーカス誤差を低減するように投影光学系 PL1 ～ PL5 それぞれの結像位置を補正する補正量（図 8 符号 δ 参照）を求め、この求めた結果に基づいて、像面調整装置 10 の第 1 光学部材 1 の第 2 光学部材 2 に対する X 軸方向における位置、すなわち、リニアアクチュエータ 3 の駆動量（補正量）を求める。ここで、制御装置 CONT は、凹凸を有する表面データに合わせて、つまり、同期移動する感光基板 P 表面の例えば基盤目状に設定された複数位置のそれぞれと、投影光学系 PL1 ～ PL5 の結像位置とが一致するように、同期移動に合わせて補正する第 1 光学部材 1 に対する第 2 光学部材 2 の X 軸方向に関する位置、すなわちリニアアクチュエータ 3 の駆動量を設定する。

【0089】更に、制御装置 CONT は、ステップ SA2 で設定した投影光学系 PL1 ～ PL5 それぞれの像面

傾斜と、ステップ SA13 で求めた新たな表面データとに基づいて、像面と表面データ（感光基板 P 表面）との位置誤差を求め、この求めた結果に基づいて、投影光学系 PL1 ～ PL5 それぞれの像面傾斜の補正量を求める（ステップ SA15）。具体的には、制御装置 CONT は、凹凸を有する表面データと投影光学系 PL1 ～ PL5 それぞれの像面とを一致させるように、投影光学系 PL1 ～ PL5 それぞれの像面傾斜を補正する補正量（図 8 符号 r 参照）を求め、この求めた結果に基づいて、像面調整装置 10 の第 1 光学部材 1 の第 2 光学部材 2 に対する Z 軸回りに関する位置、すなわち、リニアアクチュエータ 5、6 の駆動量（補正量）を求める。ここで、制御装置 CONT は、凹凸を有する表面データに合わせて、つまり、同期移動する感光基板 P 表面の例えば基盤目状に設定された複数位置のそれぞれと、投影光学系 PL1 ～ PL5 の像面とが一致するように、同期移動に合わせて補正する第 1 光学部材 1 に対する第 2 光学部材 2 の Z 軸回りに関する位置、すなわちリニアアクチュエータ 5、6 の駆動量を設定する。

【0090】制御装置 CONT は、ステップ SA14 及びステップ SA15 で求めた補正量に基づいて、マスク M と感光基板 P との同期移動に合わせて補正する像面調整装置 10 での補正量、すなわち、リニアアクチュエータ 3 及びリニアアクチュエータ 5、6 の補正量を、例えば前記基盤目状に設定した位置に合わせて設定し、この設定した補正量を制御マップとして記憶装置に記憶する（ステップ SA16）。

【0091】更に、制御装置 CONT は、上記ステップ SA2 などで設定した同期移動速度に応じて、マスク M と感光基板 P との同期移動に合わせて像面と表面データ（感光基板 P 表面）とが一致するように、像面の補正速度、すなわち、像面の Z 軸方向における単位時間当たりの移動量、及び像面の Y 軸に対する単位時間当たりの回転量（傾斜量）を設定しする。制御装置 CONT は、設定した像面の補正速度に基づいて、リニアアクチュエータ 3 及びリニアアクチュエータ 5、6 の駆動速度を設定し、この設定した駆動速度（補正速度）も制御マップとして記憶装置に記憶する。

【0092】マスク M と感光基板 P との同期移動に合わせて補正する像面調整装置 10 での補正量を予め制御マップとして記憶装置に記憶したら、制御装置 CONT は、照明光学系 IL のシャッタによる照明光の遮断を解除するとともに、マスク M を支持するマスクステージ MST と感光基板 P を支持する基板ステージ PST とを同期移動しつつ、マスク M のパターン像を投影光学系 PL1 ～ PL5 を介して感光基板 P に転写する走査露光を開始する（ステップ SA17）。

【0093】走査露光を行うに際し、まず、制御装置 CONT は、記憶装置に記憶してある前記制御マップに基づいて、パターン像の像面の Z 軸方向における位置を調整

するとともに、像面傾斜を調整する（ステップSA18）。

【0094】そして、制御装置CONTは、マスクMと感光基板Pとを同期移動するとともに、この同期移動に伴って、予め求められている制御マップに基づいて、像面調整装置10での補正量を変化させつつ、走査露光を行う（ステップSA19）。

【0095】制御装置CONTは、同期移動方向におけるレベリング制御量に基づいて、基板ステージ駆動部PSTDを適宜駆動し、レベリング制御を行うとともに、前記制御マップに基づいて像面調整装置10を駆動することにより、各投影光学系PL1～PL5それぞれの像面を感光基板Pの表面に一致させつつ、感光基板Pに対して露光処理を行う（ステップSA20）。

【0096】本実施形態の露光装置EXによると、図10（a）に示すように、マスクMがY軸方向（非走査方向）に撓んで、投影光学系PL1～PL5それぞれの像面と感光基板P表面とが一致しない場合でも、マスクM及び感光基板Pの表面形状に応じて像面調整装置10の第1光学部材1を第2光学部材2に対してX軸方向に移動することにより、図10（b）に示すように、投影光学系PL1～PL5それぞれの像面のZ軸方向における位置と、感光基板Pの表面とを合わせることができる。そして、第1光学部材1を第2光学部材2に対してZ軸回りに回転することにより、図10（c）に示すように、像面が傾斜するので、凹凸のある感光基板Pであっても、この感光基板Pと投影光学系PL1～PL5それぞれの像面とをほぼ一致させることができる。なお、マスクM及び感光基板Pの表面を測定するフォーカスセンサを投影領域に3点以上設ければ、表面の傾斜を正確に測定でき、それに対して像面を傾斜させるようにすればよい。

【0097】また、図11（a）に示すように、マスクMあるいは感光基板PがX軸方向（走査方向）に撓んで、投影光学系PL1～PL5それぞれの像面と感光基板P表面とが一致しない場合でも、感光基板Pの表面形状に応じて同期移動に伴って、像面調整装置10の第1光学部材1を第2光学部材2に対してX軸方向に移動することにより、図11（b）に示すように、投影光学系PL1～PL5それぞれの像面のZ軸方向における位置と、感光基板Pの表面とを合わせることができる。なお、本実施形態では、投影領域50a～50eのX軸方向における幅は狭いので、X軸に対する像面傾斜は行わない構成となっており、像面のZ軸方向における位置調整で、走査方向に関しては感光基板P表面と像面とを一致させることができる。

【0098】そして、図12（a）に示すように、走査露光中において、基板ステージPSTをX軸回りに回転しながらレベリング制御量に基づいてレベリング制御することにより、感光基板Pの表面の各位置におけるフォ

ーカス誤差を平均的に小さくすることができる。そして、これに加えて、このレベリング制御によってもなお残存するフォーカス誤差を、前述したように像面調整装置10により像面の位置をZ軸方向に調整するとともに、パターン像の像面傾斜を調整することにより、投影光学系自身の像面位置調整で像面と感光基板P表面との位置誤差を個別に小さくすることができる。このように、制御装置CONTは、基板ステージ駆動部PSTDを介して基板ステージPSTのY軸方向における傾き（レベリング）を調整しながら走査露光を行うことができる。同様に、図12（b）に示すように、基板ステージPSTをY軸回りに回転しながらレベリング調整することも可能であり、この場合も、感光基板Pの表面の各位置におけるフォーカス誤差を平均的に小さくすることができる。すなわち、制御装置CONTは、基板ステージPSTDを介して基板ステージPSTのX軸方向における傾きを調整しながら走査露光を行うことができる。ここで、図12において、破線で示す感光基板Pはレベリング制御を行われていない状態を示すものであり、実線で示す感光基板Pはレベリング制御を行われている状態を示すものである。なお、本実施形態では、投影領域50a～50eのX軸方向における幅は狭いので、X軸方向における傾きを調整しながら走査露光を行わなくても、基板ステージPSTのZ軸方向に関する位置調整だけで、走査方向に関しては感光基板P表面と像面とを一致させることができる。また、各投影光学系に備えられた像面調整装置10の像面調整範囲になるように感光基板Pのレベリング調整を行い、ともに連動させることが望ましい。

【0099】以上説明したように、パターンの像面の位置をZ軸方向に調整するとともにパターン像の像面傾斜を調整する像面調整装置10を備えたので、像面調整装置10は、パターンの像面の位置を調整することにより、フォーカス誤差を低減できる。また、パターン像の像面傾斜を調整することにより、感光基板PやマスクMの表面に凹凸が存在していても、パターン像の像面と感光基板Pの表面とを一致させることができる。したがって、マスクMと感光基板Pとを同期走査しつつ露光処理を行う場合でも、像面と感光基板Pの表面との位置誤差を低減しつつ走査露光を行うことができる。

【0100】像面調整装置10は、第1射出面1bを有する第1光学部材1と、第1射出面1bに対向する第2入射面2aを有する第2光学部材2とからなる一对のくさび型光学部材を有しており、これらをZ軸回りに相対的に回転するだけで、パターン像の像面をZ軸に対して簡単に傾斜させることができる。したがって、感光基板Pに凹凸が存在していても、この凹凸に合わせて像面を傾斜させればよいので、感光基板Pの表面と像面との位置誤差を低減しつつ精度良い走査露光を行うことができる。

【0101】撮像センサ41を用いてマスクMの走査方向における撓み量を予め求め、この求めた撓み量に基づいて像面調整装置10が制御されるので、マスクMの撓みに起因して像面の位置が変化しても、像面と感光基板Pとの位置誤差を低減することができる。

【0102】なお、撮像センサ41は、照度とコントラストとを測定するように示しているが、照度を測定する専用のセンサを別途設けるようにしてもよい。また、撮像センサ41で、ベースラインの計測を行うようにしてもよいし、マスクの位置測定や、マスクのパターンの位置測定を投影光学系を介した像により行うようにしてもよい。

【0103】第1光学部材1と第2光学部材2とは、エアベアリング11により非接触状態で一定の間隔で対向するように保持されているので、投影光学系PL1~PL5それぞれの像面位置を高精度で微調整できるとともに、非接触であるから経時的な劣化も少なく、長期にわたり精度良い調整を行うことができる。

【0104】なお、第1光学部材1と第2光学部材2とを非接触状態に保持する非接触装置としては、上記実施形態で示したような負圧による吸引力と陽圧による反発力との組み合わせによるエアベアリングの他に、例えば、磁力による吸引力と陽圧による反発力とを組み合わせたもので、負圧による吸引力と磁力による反発力とを組み合わせたものでもよい。また、磁力による吸引力と磁力による反発力とを組み合わせたものでもよく、更には、重力、バネによる付勢力等と、上記の陽圧もしくは負圧、磁力等を適宜に組み合わせたものでもよい。

【0105】上記実施形態において、第1光学部材1と第2光学部材2とはエアベアリング11により非接触状態となっているが、必ずしも非接触状態である必要はない。一対のくさび型光学部材を接触状態とし、この一対のくさび型光学部材を貫通する光路の光軸回りにそれぞれを相対的に回転可能とする回転装置としてのリニアアクチュエータ5、6により一対のくさび型光学部材を相対的に回転するようにしてもよい。一方、一対のくさび型光学部材を非接触状態で相対的に回転することにより、光学部材の劣化を抑えることができる。

【0106】上記実施形態において、レベリング制御及び像面調整は、マスクM及び感光基板PのZ軸方向における相対距離に関する表面データに基づいて行うように説明したが、マスクMについての表面データに基づいてのみ、あるいは、感光基板Pについての表面データに基づいてのみ行うことができる。

【0107】なお、上記実施形態において、走査露光を行うに際し、レベリング制御は感光基板Pを支持する基板ステージPSTに関して行われるように説明したが、マスクMを支持するマスクステージMSTをX軸回り及びY軸回りに回転可能とし、マスクステージMSTをマスクステージ駆動部MSTDを用いてレベリング制御し

ながら走査露光を行うようにしてもよい。

【0108】上記実施形態では、撮像センサ41によりマスクMの近似曲面を求めた後、フォーカスセンサ20により感光基板Pの近似曲面を求め、これらの近似曲面に基づいてマスクMと感光基板Pとの相対距離に関する表面データを算出し、算出した表面データに応じて像面調整装置10を制御する構成であるが、マスクMや感光基板Pの撓み量を、これらマスクMや感光基板Pの大きさ、形状、及び材質、ステージの支持位置等に基づいて、例えば数値計算などを用いて理論的に求め、この求めたマスクMや感光基板Pの撓み量に基づいて、像面調整装置10を制御するようにしてもよい。

【0109】上記実施形態において、マスクMの表面形状は撮像センサ41の検出結果に基づいて求められ、感光基板Pの表面形状はフォーカスセンサ20の検出結果に基づいて求められ、これら別々に求められた表面形状に基づいてマスクMと感光基板PとのZ軸方向における相対距離から表面データが算出される構成である。一方、フォーカスセンサ20が、マスクMの表面と感光基板Pの表面とのZ軸方向における相対距離検出を行うようにしてもよい。制御装置CONTは、予備走査中に、フォーカスセンサ20を用いて、マスクM及び感光基板Pのそれぞれの表面のZ軸方向における相対距離の検出、すなわち、マスクM及び感光基板Pのそれぞれの表面のZ軸方向における位置検出を行う。具体的には、マスクMと感光基板Pとを走査しつつ、複数のフォーカスセンサ20のそれぞれによるマスクM及び感光基板Pについてのフォーカス信号に基づいて、マスクM及び感光基板PのZ軸方向における位置を所定のピッチでサンプリングすることにより、制御装置CONTは、基盤目状に規定された所定のX座標及びY座標に対応するマスクM及び感光基板PのZ軸方向における相対距離を表面データとして記憶装置に記憶する。そして、マスクM及び感光基板PそれぞれについてのZ軸方向における位置に基づいて、マスクMと感光基板PとのZ軸方向における相対距離を求めてこれを表面データとする。

【0110】上記実施形態では、レベリング制御と像面調整装置10による像面位置調整とを併用するように説明したが、もちろん、像面調整装置10のみでも像面と感光基板P（表面データ）との位置誤差を低減することができる。ただし、像面と感光基板Pとの位置誤差が大きい場合、像面調整装置10の第1光学部材1（あるいは第2光学部材2）の移動量を大きくしなければならないため、露光装置内の部材と干渉してしまうなどの問題が発生する場合がある。この場合、レベリング制御を併用することにより、像面調整装置10の第1光学部材1（あるいは第2光学部材2）の移動量を抑えることができる。

【0111】上記実施形態では、第1光学部材1及び第2光学部材2のそれぞれはX軸方向に向かって漸次厚さ

が変化する形状であり、第 1 光学部材 1 及び第 2 光学部材 2 の傾斜面である第 1 射出面 1 b 及び第 2 入射面 2 a は X 軸方向に傾斜している。これにより、第 1 光学部材 1 と第 2 光学部材 2 とを Z 軸回りに相対的に回転することにより、図 8 を用いて説明したように、像面は Y 軸に対して傾斜する。一方、第 1 光学部材 1 及び第 2 光学部材 2 のそれぞれを Y 軸方向に向かって漸次厚さが変化する形状とし、すなわち、第 1 光学部材 1 及び第 2 光学部材 2 の傾斜面である第 1 射出面 1 b 及び第 2 入射面 2 a を Y 軸方向に傾斜するように設定し、この形状を有する第 1 光学部材 1 と第 2 光学部材 2 とを Z 軸回りに相対的に回転することにより、像面を X 軸に対して傾斜させることができる。これにより、例えば、投影領域 50 a ~ 50 e の X 軸方向における幅が大きくなり、マスク M が X 軸方向に撓んで走査方向においても像面傾斜調整を行う必要が生じた場合であっても、感光基板 P (表面データ) と像面とを一致させつつ走査露光を行うことができる。なお、本実施形態において、投影領域 50 a ~ 50 e のそれぞれは Y 軸方向 (非走査方向) に長い形状であり、X 軸方向に対しては幅狭であるため、X 軸方向に関しては感光基板 P の表面の凹凸に応じて像面傾斜調整を行わなくても、Z 軸方向における像面位置調整を行うだけで、感光基板 P の表面と X 軸方向における像面とを略一致させることができる。

【0112】また、X 軸方向に傾斜する傾斜面をそれぞれ有する第 1、第 2 光学部材を備えた像面調整装置と、Y 軸方向に傾斜する傾斜面をそれぞれ有する第 1、第 2 光学部材を備えた像面調整装置との双方を露光光の光路上に設け、これら 2 つの像面調整装置によって、像面を Y 軸及び X 軸のそれぞれに対して傾斜させつつ露光処理を行う構成とすることもできる。

【0113】次に、図 13 を参照しながら、露光方法の第 2 実施形態について説明する。ここで、以下の説明において、上記第 1 実施形態と同一あるいは同等の構成部分についてはその説明を簡略もしくは省略する。マスク M がマスクステージ MST にロードされる (ステップ S B 1)。

【0114】次に、制御装置 CONT は、照明光学系 I L によりマスク M を露光光で照明し、このマスク M を介した露光光に基づく投影領域 50 a ~ 50 e の照度を基板ステージ PST に設けられている撮像センサ 41 で検出する (ステップ S B 2)。撮像センサ 41 は投影領域 50 a ~ 50 e の照度の検出結果を制御装置 CONT へ出力する。制御装置 CONT は、投影領域 50 a ~ 50 e のそれぞれの照度を撮像センサ 41 によって 2 次元的に検出することにより、投影光学系 P L 1 ~ P L 5 のそれぞれの像のコントラストを検出し、像面の位置 (Z 軸方向における位置及び Y 軸に対する傾斜方向の位置) を求める。

【0115】次いで、制御装置 CONT は、第 1 光学部

材 1 及び第 2 光学部材 2 を用いて像面の位置を補正する (ステップ S B 3)。すなわち、制御装置 CONT は、像面調整装置 10 の第 1 光学部材 1 を第 2 光学部材 2 に対して X 軸方向に移動するとともに、第 1 光学部材 1 を第 2 光学部材 2 に対して Z 軸回りに回転しつつ、撮像センサ 41 により投影光学系 P L 1 ~ P L 5 のそれぞれに関して照度検出を行い、この検出結果に基づいて、投影光学系 P L 1 ~ P L 5 のそれぞれの結像位置が Z 軸方向で同じ位置になるように、且つ、投影領域 50 a ~ 50 e のそれぞれが所定の台形状を有するように、像面の位置を補正する。これにより、投影光学系 P L 1 ~ P L 5 それぞれの像面の Z 方向における位置は同じになり、且つ、投影光学系 P L 1 ~ P L 5 それぞれの光軸と像面とは直交する。

【0116】そして、制御装置 CONT は、このときの投影光学系 P L 1 ~ P L 5 それぞれの第 1 光学部材 1 及び第 2 光学部材 2 の X 軸方向及び Z 軸回りに関する補正量 (リニアアクチュエータ 3, 5, 6 の駆動量) を、記憶装置に記憶する。こうして、投影光学系 P L 1 ~ P L 5 それぞれの像面の Z 軸方向における位置が互いに等しくなるように、且つ、投影光学系 P L 1 ~ P L 5 それぞれの像面と光軸とが直交するようにキャリブレーションが行われ、このときの同期移動に伴う像面調整装置 10 の補正量が設定され、記憶される。

【0117】すなわち、第 1 実施形態では、ステップ S A 2 で説明したように、像面調整装置 10 により投影光学系単独での像面位置調整 (キャリブレーション) を行う構成であるが、第 2 実施形態では、マスク M を介した光を用いて像面位置調整が行われる。すなわち、第 2 実施形態では、マスク M の撓み量に起因する像面位置変化をも含めて補正するキャリブレーションが行われる。

【0118】次いで、感光基板 P が基板ステージ PST にロードされる (ステップ S B 4)。

【0119】感光基板 P が基板ステージ PST にロードされたら、制御装置 CONT は、露光処理を行う前の予備走査を行う。すなわち、制御装置 CONT は、照明光学系 I L による照明を行わない状態で、マスク M を支持するマスクステージ MST と感光基板 P を支持する基板ステージ PST とを投影光学系 P L 1 ~ P L 5 に対して X 軸方向に同期移動する。この予備走査中に、アライメント系 49 a、49 b がマスク M と感光基板 P とのアライメントを行う。

【0120】制御装置 CONT は、アライメント系 49 a、49 b を用いてマスク M 及び感光基板 P の X 軸方向及び Y 軸方向における相対的な位置 (姿勢) 検出を行う (ステップ S B 5)。

【0121】制御装置 CONT は、アライメント系 49 a、49 b の検出結果に基づいて、マスクステージ駆動部 MST D 及び基板ステージ駆動部 PST D を介してマスクステージ MST 及び基板ステージ PST を駆動し、

マスクMと感光基板Pとを位置合わせする（ステップSB6）。

【0122】一方、上記ステップSB5の処理と並行して、フォーカスセンサ20が、感光基板Pの表面のZ軸方向における相対距離検出を行う（ステップSB7）。制御装置CONTは、予備走査中に、フォーカスセンサ20を用いて、感光基板Pの表面のZ軸方向における相対距離の検出、すなわち、感光基板Pの表面のZ軸方向における位置検出を行う。

【0123】制御装置CONTは、ステップSB7で求めた感光基板PのZ軸方向における位置に関するデータに基づいて、感光基板Pの表面形状の近似曲面を最小自乗法等の近似方法を用いて算出し、表面データとする（ステップSB8）。

【0124】制御装置CONTは、前記表面データに基づいて、複数の投影光学系PL1～PL5のそれぞれについてのフォーカス誤差、及び像面と感光基板P表面との位置誤差（像面位置誤差）を求める。

【0125】次に、制御装置CONTはレベリング制御量を算出する（ステップSB9）。

【0126】制御装置CONTは、ステップSB9で算出したレベリング制御量に基づいて、ステップSB8で算出した表面データを補正し、新たな表面データを求める（ステップSB10）。

【0127】制御装置CONTは、ステップSB3で設定した投影光学系PL1～PL5それぞれの結像位置と、ステップSB10で求めた新たな表面データとに基づいて、残留するフォーカス誤差を求め、この求めた結果に基づいて、投影光学系PL1～PL5それぞれの結像位置の補正量を求める（ステップSB11）。

【0128】更に、制御装置CONTは、ステップSB3で設定した投影光学系PL1～PL5それぞれの像面傾斜と、ステップSB10で求めた新たな表面データとに基づいて、像面と表面データ（感光基板P表面）との位置誤差を求め、この求めた結果に基づいて、投影光学系PL1～PL5それぞれの像面傾斜の補正量を求める（ステップSB12）。

【0129】すなわち、ステップSB3で求めた、マスクMの撓みに起因する像面位置変化を補正するための補正量に、感光基板Pの表面形状に対して像面を一致させるための補正量が加算される。

【0130】制御装置CONTは、ステップSB11及びステップSB12で求めた補正量に基づいて、マスクMと感光基板Pとの同期移動に合わせて補正する像面調整装置10での補正量、すなわち、リニアアクチュエータ3及びリニアアクチュエータ5、6の補正量を、例えば前記基盤目状に設定した位置に合わせて設定し、この設定した補正量を制御マップとして記憶装置に記憶する（ステップSB13）。

【0131】マスクMと感光基板Pとの同期移動に合わ

せて補正する像面調整装置10での補正量を予め制御マップとして記憶装置に記憶したら、制御装置CONTは、照明光学系ILのシャッタによる照明光の遮断を解除するとともに、マスクMを支持するマスクステージMSTと感光基板Pを支持する基板ステージPSTとを同期移動しつつ、マスクMのパターン像を投影光学系PL1～PL5を介して感光基板Pに転写する走査露光を行う（ステップSB14）。

【0132】以上説明したように、マスクM及び複数の投影光学系PL1～PL5それぞれを介した露光光を撮像センサ41で検出し、この検出結果に基づいて像面位置調整を行って、マスクMの撓みに起因する像面位置変化を補正するための補正量を予め求めておくことにより、例えば、マスクMを交換しないで感光基板Pを順次交換しつつ露光処理を行うような場合、マスクMの撓みに起因する像面位置変化を補正するための補正量の導出は、1回行えばよいので、工数を減らすことができ作業効率を向上することができる。そして、フォーカスセンサ20を用いて感光基板Pの表面形状データを求め、この感光基板Pの表面と像面とを一致させるための補正量を求め、この求めた感光基板に対する補正量と、マスクに対する補正量とを合わせた補正量で像面位置調整を行うことにより、像面と感光基板Pとを精度良く一致させつつ走査露光を行うことができる。

【0133】なお、上記第2実施形態では、フォーカスセンサ20により感光基板PのZ軸方向における位置を検出し、この検出結果から感光基板Pの表面データ（近似曲面）を求め、この求めた結果に基づいて制御マップを作成し、この制御マップに基づいて像面調整装置10により像面位置調整を行うように説明したが、制御マップを作成せずに、感光基板Pの表面形状を、投影光学系より同期移動方向前方側に設けられた先読みセンサで検出しつつ走査露光を行い、先読みセンサの検出結果に基づいて、像面調整装置10の制御やレベリング制御を行うようにしてもよい。すなわち、制御マップを作成せずに、先読みセンサで感光基板Pの表面形状を検出しつつ像面調整を行うようにしてもよい。

【0134】上記各実施形態において、像面調整装置10によって像面位置調整をすることにより感光基板P上におけるパターン像が例えばX軸方向に移動したりする場合がある。この場合、マスクMと感光基板Pとの相対的な像特性（シフト、ローテーション、スケール）に関する補正を行いつつ、走査露光する。例えば、第1実施形態におけるステップSA7などにおいて、制御装置CONTは、上記マスクアライメントマーク及び基板アライメントマーク52a～52dの検出手順と同様の手順により、像特性補正用の不図示のマスクマークと基板マークとを順次重ね合わせつつアライメント系49a、49bがマーク位置を検出する。制御装置CONTは、マスクMと感光基板Pとを位置合わせするためにア

ライメント系 49a, 49b を用いてマスクマーク及び基板マークの位置情報を検出し、得られた位置情報に対して統計演算を行って感光基板 P 上に設定された全てのパターンの位置を求める。そして、求めた位置情報と理想位置（理想格子）とに基づいてパターンの像特性、すなわち、シフト、ローテーション、スケーリング、ひいては感光基板 P の変形量を求める。そして、先に感光基板 P に形成されているパターンに対して、次のパターンを所定の位置関係で積み重ねることができるよう、投影光学系 PL1~PL5 のそれぞれに設けられているシフト調整機構 23、ローテーション調整機構 28、31、スケーリング調整機構 27 それぞれの補正量、すなわち、これら各調整機構を駆動する駆動装置の駆動量を設定する。そして、設定した各調整機構の補正量に基づいて像特性を補正しつつ走査露光を行うことができる。こうすることにより、像面調整装置 10 の調整によりパターン像（投影領域）が感光基板 P 上において所望の位置に対してずれるようなことがあっても、上記調整機構を用いてパターン像を補正することにより、所望の位置にパターン像を投影することができる。

【0135】なお、例えばシフト調整を行う際、シフト調整機構 23 を用いずに、図 14 (a) に示すように、像面調整装置 10 全体を例えば Y 軸回りに回転することにより、図 14 (b) に示すように、感光基板 P 上における投影領域 50a (50b~50e) は、像面調整装置 10 の回転角度 θ に応じたシフト量 $X_{s\theta}$ だけ X 軸方向にシフトすることができる。また、このときの投影領域 50a の移動速度（単位時間当たりの移動量） $V_{x\theta}$ は、像面調整装置 10 の回転速度（単位時間当たりの回転量） V_r に基づく。

【0136】上記実施形態では、像面調整装置 10 は、反射屈折型光学系 24 と反射屈折型光学系 25 との間に設けられている構成であるが、図 15 に示すように、像面調整装置 10 はマスク M の近傍に設けられてもよい。あるいは、像面調整装置 10 は感光基板 P 近傍に設けられてもよい。更に、像面調整装置 10 はマスク M 及び感光基板 P 近傍に設けられてもよい。

【0137】図 16 に示すように、像面調整装置 10 のうち、第 1 光学部材 1 あるいは第 2 光学部材 2 に、投影光学系の結像位置検出用マーク 60 を設けることができる。像面調整装置 10 はマスク M 及び感光基板 P に対して光学的にほぼ共役な位置に設けられており、この結像位置検出用マーク 60 を撮像センサ 41 で検出することにより、投影光学系の結像位置を求めることができる。例えば、撮像センサ 41 を基板ステージ PST とともに Z 軸方向に移動しつつ、結像位置検出用マーク 60 を検出し、結像位置検出用マーク 60 が例えば円形状である場合、像が最小径となる撮像センサ 41 の Z 軸方向における位置が、投影光学系の結像位置となる。

【0138】なお、上記実施形態における露光装置 EX

は、互いに隣接する複数の投影光学系を有する、いわゆるマルチレンズ走査型露光装置であるが、投影光学系が 1 つである走査型露光装置についても、本発明を適用することができる。

【0139】なお、露光装置 EX の用途としては角型のガラスプレートに液晶表示素子パターンを露光する液晶用の露光装置に限定されることなく、例えば、半導体製造用の露光装置や、薄膜磁気ヘッドを製造するための露光装置にも広く適当できる。

10 【0140】本実施形態の露光装置 EX の光源は、g 線 (436nm)、h 線 (405nm)、i 線 (365nm) のみならず、KrF エキシマレーザ (248nm)、ArF エキシマレーザ (193nm)、F₂ レーザ (157nm) を用いることができる。

【0141】投影光学系 PL の倍率は等倍系のみならず、縮小系及び拡大系のいずれでもよい。

20 【0142】投影光学系 PL としては、エキシマレーザなどの遠紫外線を用いる場合は硝材として石英や蛍石などの遠紫外線を透過する材料を用い、F₂ レーザを用いる場合は反射屈折系または屈折系の光学系にする。

【0143】基板ステージ PST やマスクステージ MST にリニアモータを用いる場合は、エアベアリングを用いたエア浮上型およびローレンツ力またはリアクタンス力を用いた磁気浮上型のどちらを用いてもよい。また、ステージは、ガイドに沿って移動するタイプでもよいし、ガイドを設けないガイドレスタイプでもよい。

30 【0144】ステージの駆動装置として平面モータを用いる場合、磁石ユニットと電機子ユニットのいずれか一方をステージに接続し、磁石ユニットと電機子ユニットの他方をステージの移動面側（ベース）に設ければよい。

【0145】基板ステージ PST の移動により発生する反力は、特開平 8-166475 号公報に記載されているように、フレーム部材を用いて機械的に床（大地）に逃がしてもよい。本発明は、このような構造を備えた露光装置においても適用可能である。

40 【0146】マスクステージ MST の移動により発生する反力は、特開平 8-330224 号公報に記載されているように、フレーム部材を用いて機械的に床（大地）に逃がしてもよい。本発明は、このような構造を備えた露光装置においても適用可能である。

【0147】以上のように、本願実施形態の露光装置は、本願特許請求の範囲に挙げられた各構成要素を含む各種サブシステムを、所定の機械的精度、電気的精度、光学的精度を保つように、組み立てることで製造される。これら各種精度を確保するために、この組み立ての前後には、各種光学系については光学的精度を達成するための調整、各種機械系については機械的精度を達成するための調整、各種電気系については電気的精度を達成するための調整が行われる。各種サブシステムから露光

装置への組み立て工程は、各種サブシステム相互の、機械的接続、電気回路の配線接続、気圧回路の配管接続等が含まれる。この各種サブシステムから露光装置への組み立て工程の前に、各サブシステム個々の組み立て工程があることはいうまでもない。各種サブシステムの露光装置への組み立て工程が終了したら、総合調整が行われ、露光装置全体としての各種精度が確保される。なお、露光装置の製造は温度およびクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

【0148】半導体デバイスは、図17に示すように、デバイスの機能・性能設計を行うステップ201、この設計ステップに基づいたマスク（レチクル）を製作するステップ202、デバイスの基材である基板（ウエハ、ガラスプレート）を製造するステップ203、前述した実施形態の露光装置によりレチクルのパターンをウエハに露光するウエハ処理ステップ204、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む）205、検査ステップ206等を経て製造される。

【0149】

【発明の効果】本発明によれば、パターンの像面の位置をこの像面と直交する方向に調整するとともにパターン像の像面傾斜を調整するようにしたので、感光基板の全域に亘って最適フォーカスに近い状態で走査露光を行うことができる。したがって、高精度で信頼性の高いデバイスを低コストで製造できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の露光装置の一実施形態を示す概略構成図である。

【図2】図1に示す露光装置の概略斜視図である。

【図3】投影光学系を示す概略構成図である。

【図4】感光基板及び投影領域を説明するための平面図である。

【図5】像面調整装置を示す図であって、(a)は側面図、(b)は平面図である。

【図6】像面調整装置に設けられた非接触装置を示す図である。

【図7】第1の光学部材及び第2の光学部材の位置を調整することにより結像位置が変化する様子を説明するた

めの図である。

【図8】第1の光学部材及び第2の光学部材の位置を調整することにより像面の位置が変化する様子を説明するための図である。

【図9】本発明の露光方法の第1実施形態を説明するためのフローチャート図である。

【図10】像面調整装置により像面の位置が調整される様子を説明するための図である。

【図11】像面調整装置により像面の位置が調整される様子を説明するための図である。

【図12】像面調整装置により像面の位置が調整される様子を説明するための図である。

【図13】本発明の露光方法の第2実施形態を説明するためのフローチャート図である。

【図14】像面調整装置を駆動することによりパターン像がシフトする様子を説明するための図である。

【図15】投影光学系の他の実施例を示す概略構成図である。

【図16】像面調整装置に設けられた結像位置検出用マークを説明するための図である。

【図17】半導体デバイスの製造工程の一例を示すフローチャート図である。

【符号の説明】

1 第1光学部材（第1の光学部材）

1b 第1射出面（第1の傾斜面）

2 第2光学部材（第2の光学部材）

2a 第2入射面（第2の傾斜面）

5, 6 リニアアクチュエータ（駆動装置、回転装置）

10 像面調整装置

11 エアベアリング（非接触装置）

41 撮像センサ

CONT 制御装置（制御部）

EX 露光装置

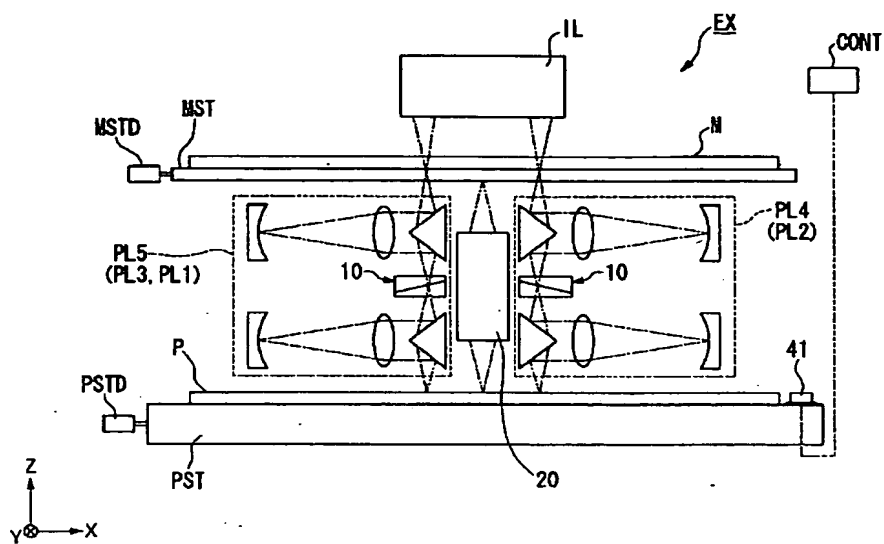
M マスク

P 感光基板

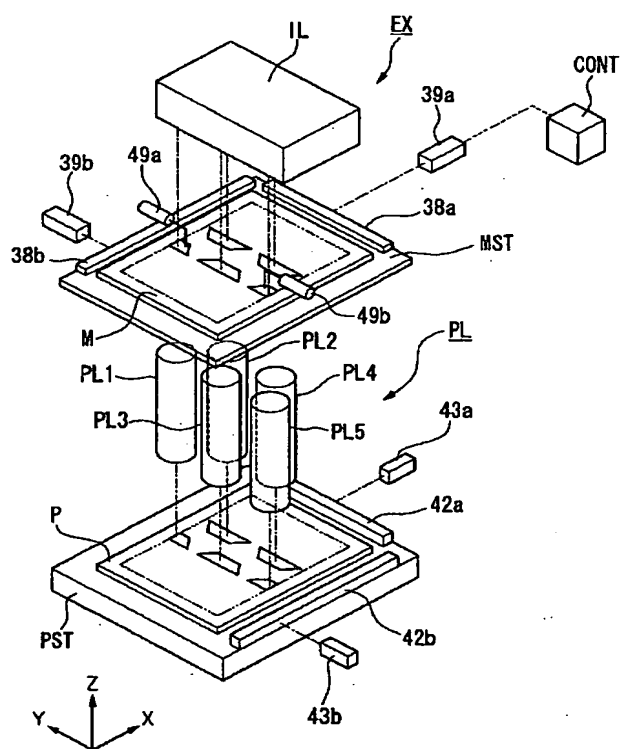
PL1～PL5 投影光学系

PST 基板ステージ

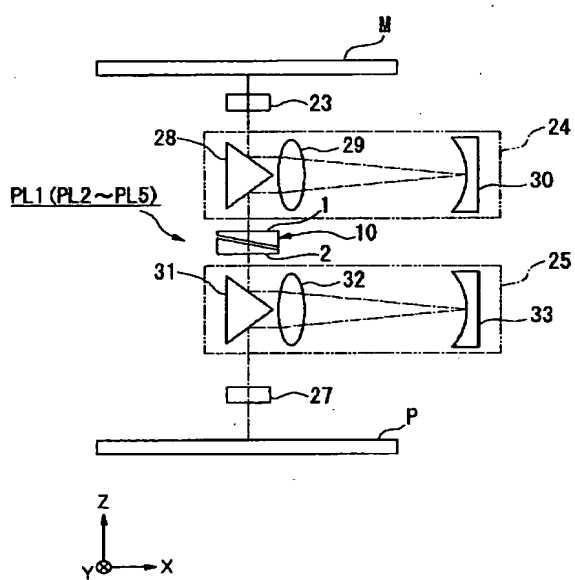
【図 1】



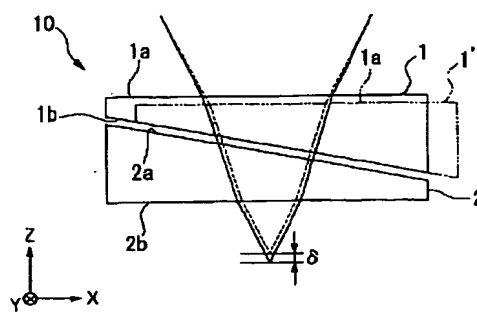
【図 2】



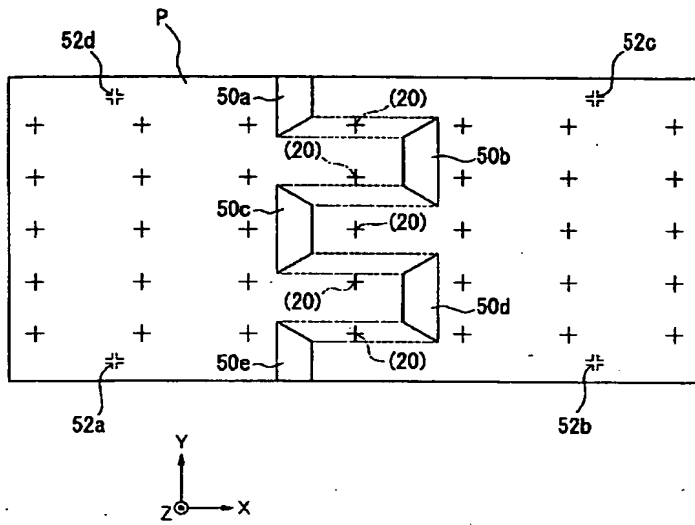
【図 3】



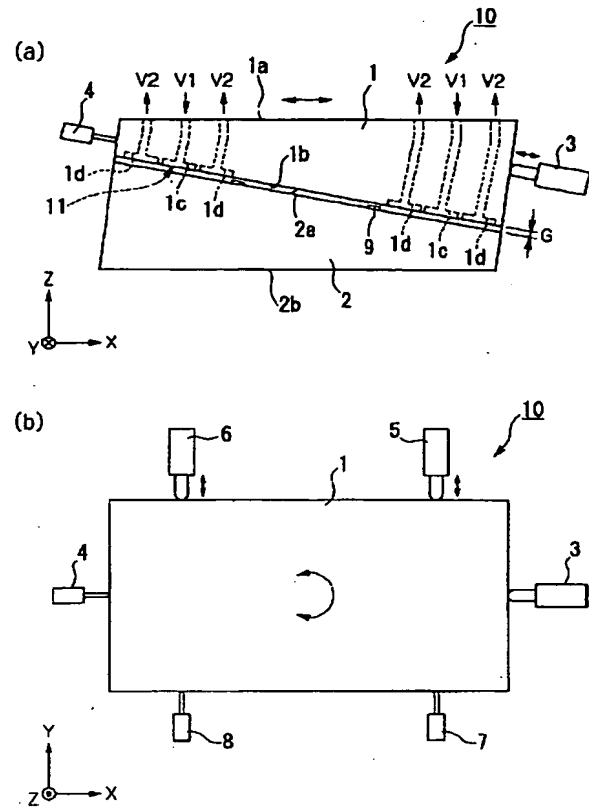
【図 7】



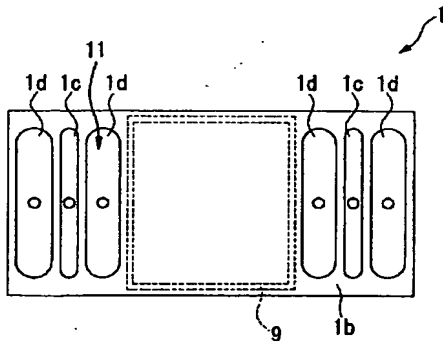
【図4】



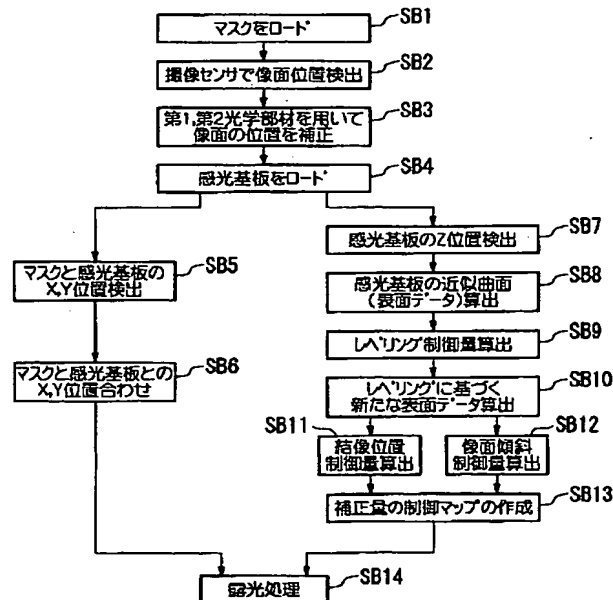
【図5】



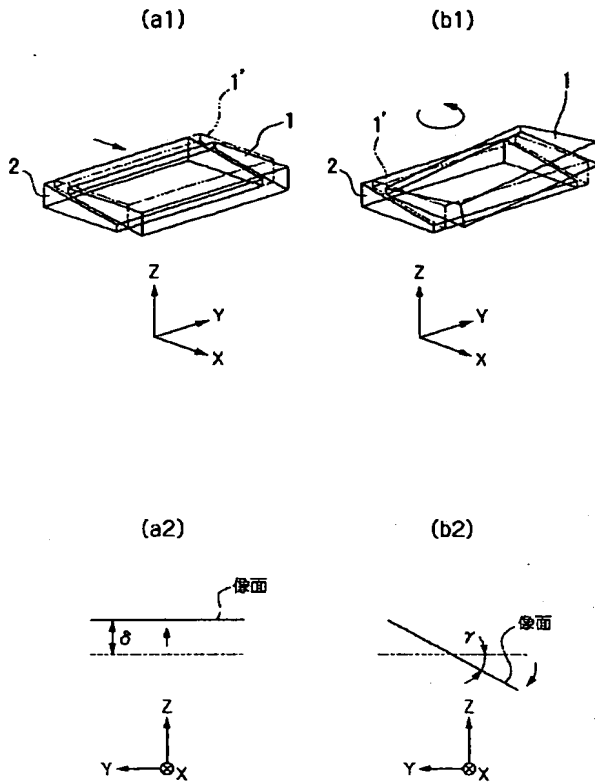
【図6】



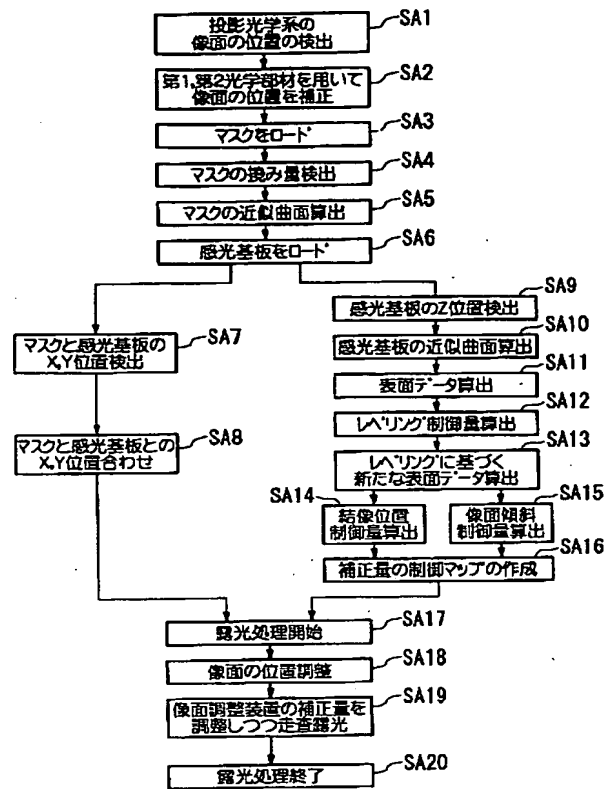
【図13】



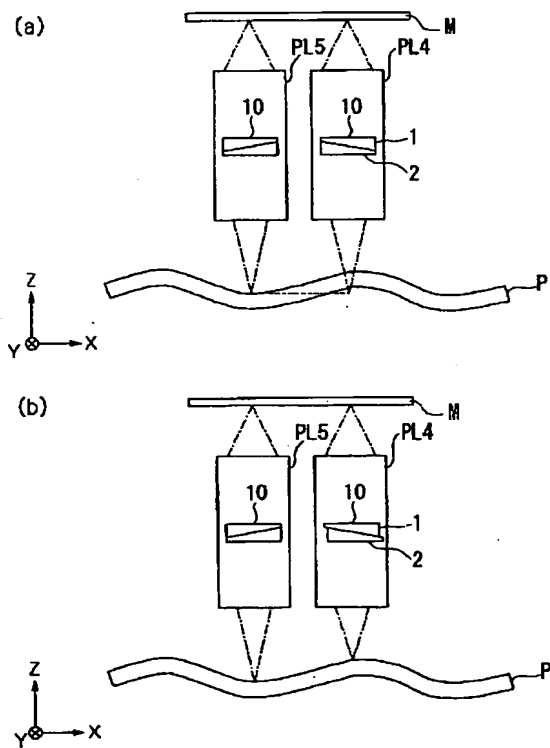
【図 8】



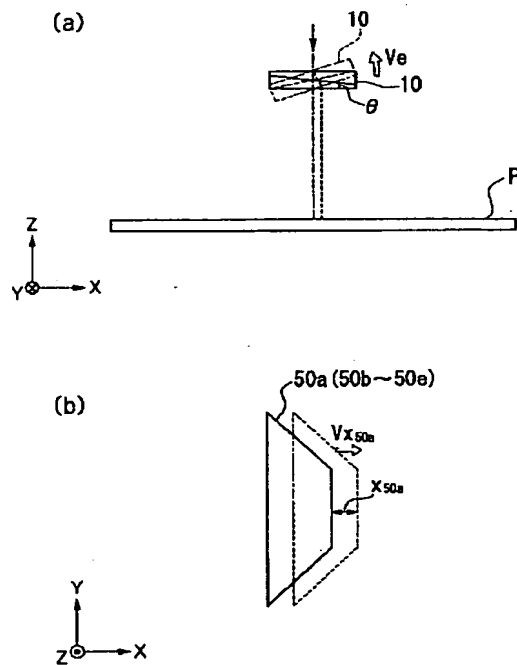
【図 9】



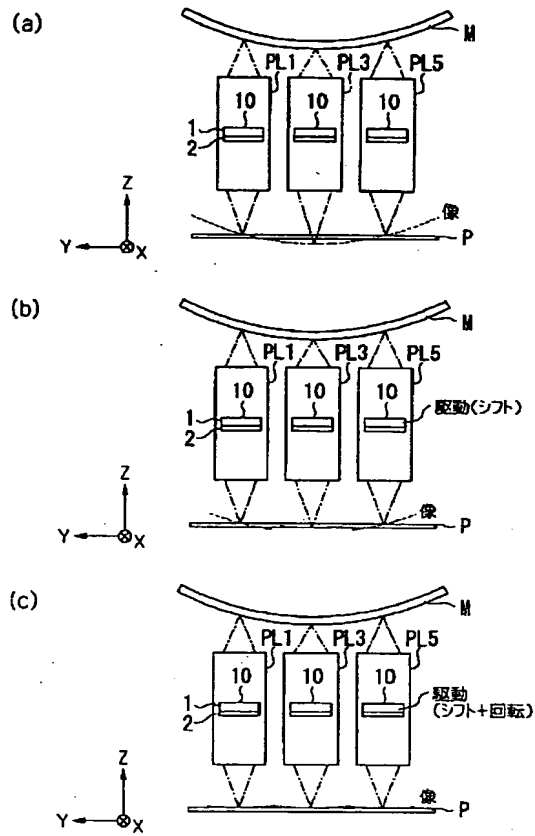
【図 11】



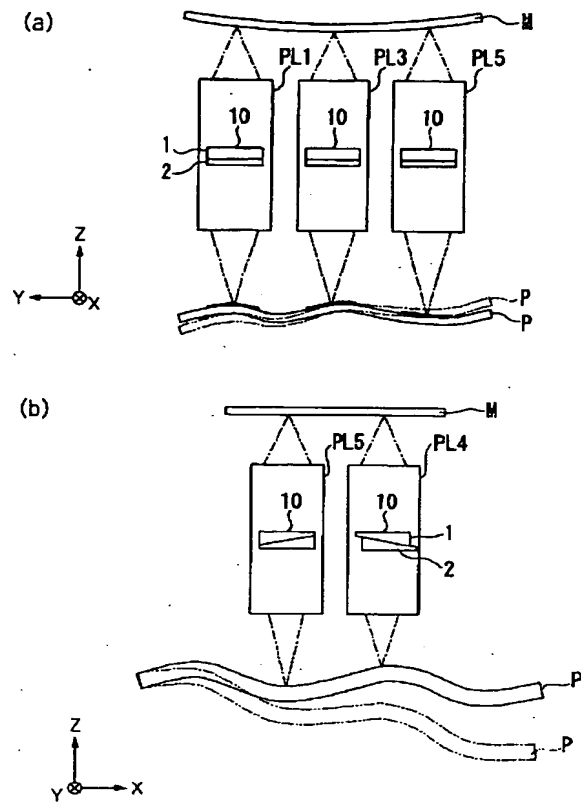
【図 14】



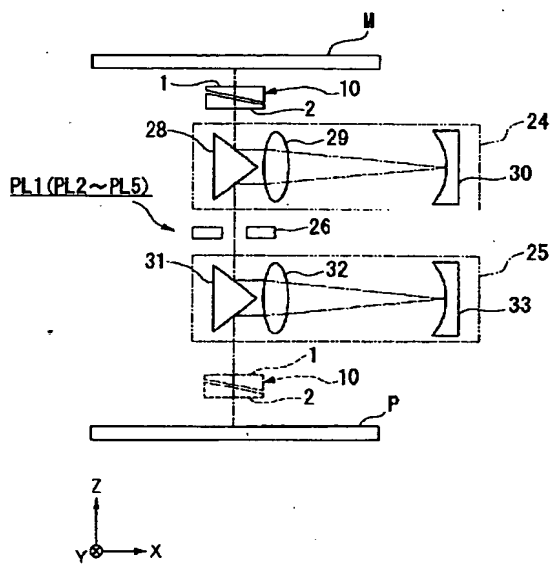
【図 10】



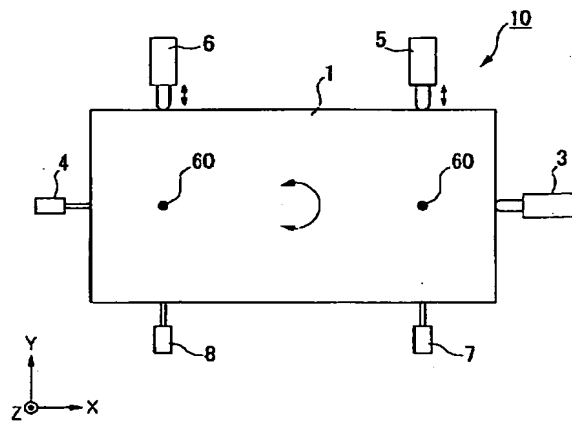
【図 12】



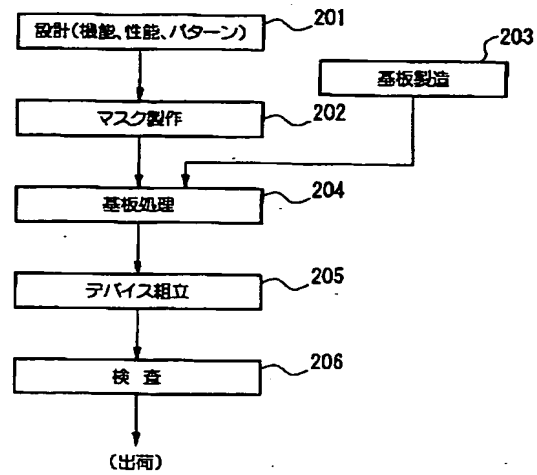
【図 15】



【図 16】



【図 17】



フロントページの続き

(72)発明者 加藤 正紀
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
式会社ニコン内

Fターム(参考) 5F046 BA05 CB19 CB25 DA13 DB05
DC04 DC12